



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## **Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj**

Rasmussen, Birgit; Stahlfest Holck Skov, Rasmus; Pedersen, Torben Holm

*Creative Commons License*  
Ikke-specificeret

*Publication date:*  
2020

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

### *Citation for published version (APA):*

Rasmussen, B., Stahlfest Holck Skov, R., & Pedersen, T. H. (2020). *Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Nr. 2020:16 <https://sbi.dk/Pages/Lyttetest-for-bygningskonstruktioner-Udvikling-af-metode-til-laboratorieforsog-med-nabostoej.aspx>

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **BUILD Rapport 2020:16**

Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj





# Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj

Birgit Rasmussen, BUILD, Aalborg Universitet  
Rasmus Stahlfest Holck Skov, FORCE Technology  
Torben Holm Pedersen, FORCE Technology

<b>TITEL</b>	Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj
<b>SERIETITEL</b>	BUILD Rapport 2020:16
<b>UDGIVELSEÅR</b>	2020
<b>UDGIVET DIGITALT</b>	Juni 2020
<b>FORFATTER</b>	Birgit Rasmussen, Rasmus Stahlfest Holck Skov, Torben Holm Pedersen
<b>SPROG</b>	Dansk
<b>SIDETAL</b>	67
<b>LITTERATURHENVISNINGER</b>	Side 40-44
<b>EMNEORD</b>	Etageboliger, nabostøj, lyttetest, laboratorieforsøg, lydstimuli, trinlyd, luftlyd, lydisolation, ventilationstøj, bygningskonstruktioner
<b>ISBN</b>	978-87-563-1954-6
<b>TEGNINGER</b>	BUILD og FORCE Technology
<b>FOTO</b>	Rasmus Stahlfest Holck Skov
<b>OMSLAGSFOTO</b>	Torben Holm Pedersen
<b>UDGIVER</b>	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post <a href="mailto:build@build.aau.dk">build@build.aau.dk</a> <a href="http://www.build.aau.dk">www.build.aau.dk</a>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# Indhold

Forord .....	4
Sammenfatning .....	5
1 Indledning .....	7
2 De danske etageboliger 1850-2019 og lydkrav i bygningsreglementet .....	9
2.1 Lydkrav i bygningsreglementet.....	9
2.2 Danske etageboligers lydmæssige tilstand og renoveringsbehov .....	11
3 Oplevede lyd- og støjgener i etageboliger og beboernes reaktioner .....	13
4 Erfaringer fra tidligere laboratorielytteforsøg til vurdering af gener fra nabostøj og ventilation.....	17
4.1 Trinlyd .....	17
4.2 Andre støjkilder .....	18
5 Planlægning af laboratorielytteforsøg og fremstilling af lydstimuli .....	19
5.1 Feltmålinger trinlyd og luftlyd i henhold til ISO 16283.....	19
5.2 Feltmålinger ventilationsstøj efter ISO 10052 og ISO 16032 .....	21
5.3 Feltoptagelser lydstimuli til laboratorielytteforsøg med trinlyd .....	22
5.4 Feltoptagelser lydstimuli ventilationsstøj.....	26
6 Udførelse af laboratorielytteforsøg.....	27
6.1 Generelt om lyttetest.....	27
6.2 Metode/procedure.....	28
6.3 Fysiske målinger på stimuli .....	33
7 Hovedresultater lyttetest for luftlyd, trinlyd, trafik og ventilationsstøj.....	34
7.1 Generelle resultater .....	34
7.2 Resultater for lyttetest trinlyd gennem etagedæk .....	34
7.3 Resultater for lyttetest luftlyd gennem vægge .....	35
7.4 Resultater lyttetest ventilationsstøj.....	35
7.5 Konklusioner lyttetest.....	35
8 Demoeksempler lydstimuli: Luftlyd, trinlyd og ventilationsstøj .....	36
8.1 De valgte lydeksempler til demonstration af nabostøj mv. ....	36
8.2 Muligheder videreudvikling af demoeksempler og perspektiver til projektering .....	37
9 Konklusioner og forslag til videreudvikling af lyttetestmetode og lydstimuli ....	38
9.1 Lyttetestmetoden og forslag til videreudvikling .....	38
9.2 Forslag videreudvikling med flere lydstimuli.....	39
Litteratur.....	40
Appendiks A – Forslag standardiseret metode til laboratorielytteforsøg.....	45
Appendiks B – Resultater feltmålinger trinlyd .....	47
Appendiks C – Sammenfatning analyseresultater lytteforsøg.....	53
Appendiks D – SUSY's 3-punktsskala for boligforhold.....	65

# Forord

Over halvdelen af samtlige danske etageboliger er bygget før der var lydisolationskrav i bygningsreglementet. I mange af disse boliger er der akustisk set ikke meget privatliv, idet mange slags nabolyde generer i dagligdagen og også kan give søvnproblemer.

I tidligere projekter er der gjort erfaringer med sammenhængen mellem bygningskonstruktioner og målt/beregnet lydisolation mellem boliger, men der mangler viden om sammenhængen med den opfattede lyd karakter, gene og beboertilfredshed. Lyttetest under kontrollerede forhold kan bidrage til en sådan viden, og derfor blev der defineret et projekt, der inkluderede udvikling af en metode og gennemførelse af laboratorielyttetest med testpersoner, der skulle lytte til og vurdere genen af en række lydstimuli, som repræsenterer nabostøj og anden støj i boliger. Rapporten beskriver lyttetestresultaterne og giver forslag til videreudvikling af metoden samt til en række nye lydstimuli til fremtidige lyttetest. Nogle af de anvendte lydstimuli er tilgængelige som demoeksempler på AAU's hjemmeside som eksemplificering af lydforholdene i bl.a ældre boligbyggeri.

Projektet er udført i et samarbejde mellem SBI/BUILD og FORCE Technology<sup>1</sup> og med økonomisk støtte fra Landsbyggefonden.

Rapporten er udarbejdet af seniorforsker, civilingeniør Birgit Rasmussen, BUILD, Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet København, samt civilingeniør, specialist, Rasmus Stahlfest Holck Skov, FORCE Technology, og civilingeniør, senior teknologi specialist, Torben Holm Pedersen, SenseLab, FORCE Technology.

BUILD, Sektion for Byggeteknik og Proces  
København, juni 2020

Ruut Peuhkuri  
Forskningschef

---

<sup>1</sup> Kontrakten er indgået med det Godkendte Teknologiske Serviceinstitut (GTS) DELTA, som siden kontraktens indgåelse er blevet en del af GTS instituttet FORCE Technology

# Sammenfatning

Nabostøj generer mange danskere. I Danmark er der knapt 1,1 mio. etageboliger, og over halvdelen af samtlige danske etageboliger er bygget før der var lydisolationskrav i bygningsreglementet. I mange af disse boliger er der akustisk set ikke meget privatliv, idet mange slags nabolyde generer i dagligdagen og også kan give søvnproblemer. Rapporten indledes med et overblik over dansk etageboligbyggeri og lydkrav/lydklasser for boliger bygget i forskellige tidsperioder samt eksempler på generende/forstyrrende nabostøj og hvilke aktiviteter, der forstyrres. Nabostøj kan have negativ indflydelse på sundhed og livskvalitet, og der gives eksempler på potentielle helbredseffekter.

I tidligere projekter er der gjort erfaringer med sammenhæng mellem bygningskonstruktioner og målt/beregnet lydisolation mellem boligerne, men der mangler viden om sammenhængen med den opfattede lyd karakter og gene af boligens lyde samt med beboertilfredshed. Lyttetest under kontrollerede forhold kan bidrage til en sådan viden, og derfor blev der defineret et projekt, der inkluderede udvikling af en metode og gennemførelse af laboratorielyttetest med testpersoner, der skulle lytte til og vurdere genen af en række lydstimuli, som repræsenterer nabostøj og anden støj, som forekommer i boliger.

I rapporten beskrives udviklingen af en lyttetestmetode, som kan benyttes til vurdering af oplevet gene af nabostøj transmitteret gennem forskellige typer bygningskonstruktioner. Metoden er dermed også egnet til sammenligning af "lydkvaliteten" af konstruktioner og boliger fra forskellige tidsperioder.

Rapporten har overordnet set mest fokus på trinlyd gennem ældre etageadskillelser, herunder især at udforske metoder til generering af relevante og reproducerbare trinlydstimuli, inklusive teknikker for in-situ lydoptagelser og realistisk gengivelse ved lyttetest. Der er som en del af projektet udført feltmålinger efter samme metoder, som benyttes til kontrol af krav i bygningsreglementet.

Der er gennemført laboratorielyttetests med testpersoner. Som forberedelse her til er der produceret en række lydstimuli til simulering af forskellige slags nabostøj, bl.a. fodtrin, musik, toiletskyl. Der er endvidere simuleret trafikstøj og ventilationsstøj, som beboerne/naboerne ikke har indflydelse på i deres dagligdag.

Rapporten beskriver forberedelsen og gennemførelsen samt hovedresultaterne fra de gennemførte lyttetest og afsluttes med konklusioner vedrørende behovet for videreudvikling af metoden – bl.a. med mere fokus på lave frekvenser – og forslag til en række nye lydstimuli til fremtidige lyttetest og demoeksempler til eksemplificering af lydforholdene i bl.a. ældre boligbyggeri.

Det er hensigten, at resultater udført efter lyttetestmetoden skal udgøre et supplement til de fysiske data for konstruktioner og materialers akustiske egenskaber. Et af perspektiverne er, at man ved hjælp af auraliseringer (lydsimuleringer baseret på originale lydoptagelser) også kan simulere kommende konstruktioner. Auraliseringerne kan endvidere udnyttes til demonstrationer af ændringer af fx lydisolation ved renovering.



Lyttetestmetoden vil kunne videreudvikles med flere konstruktionsdata og lydstimuli og bruges til fx at vurdere alternative konstruktioners eller forbedringers effekt på de oplevede gener. Metoden vil således kunne indgå i beslutningstageres bedømmelse af en boligs akustiske kvalitet og fx understøtte, at lydrenovering inkluderes som en integreret del af en bygningsrenovering.

Nogle af de anvendte lydstimuli fra de gennemførte lyttetest er tilgængelige som demoeksempler på AAU's hjemmeside som eksemplificering af lydforholdene i bl.a. ældre boligbyggeri (<https://www.nabostoej.aau.dk/>).

En detaljeret rapport (på engelsk) over lyttetestresultater og en guideline (også på engelsk), der beskriver metoden, er publiceret separat. Se referencer herunder.

Der findes ikke en internationalt standardiseret metode for laboratorielytteforsøg med nabostøj, og projekterfaringerne påtænkes nyttiggjort ved indsendelse af den udarbejdede guideline som forslag til arbejdssemne i fx ISO/TC 43/SC 2 Building Acoustics.

Projektet er et samarbejdsprojekt mellem SBI/BUILD, Aalborg Universitet København, og Force Technology, og er udført med økonomisk støtte fra Landsbyggefonden.

## Referencer

Rasmussen, B.; Skov, R.S.H.; Pedersen T.H. (2020). *Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj*. BUILD Rapport 2020:16. BUILD, Aalborg Universitet København.

Pedersen, T.H.; Skov, R.S.H.; Rasmussen, B. (2020). Technical Report: *Listening tests on neighbour noises – Airborne and impact sound*. FORCE Project no.: 118-23248, TC-101511.

Pedersen, T.H.; Skov, R.S.H. (2020). *Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise*. FORCE Project no.: 118-20470, TC-101522.

# 1 Indledning

## Projektets formål og baggrund

Projektets overordnede formål er at beskrive og afprøve en metode til udførelse af lyttetest, som direkte relaterer sig til den oplevede støj i boligen. Som en del af projektet er der produceret en række lydsimuleringer, som kan bruges til lyttetest, og som også kan benyttes kvalitativt som demoeksempler til at gøre opmærksom på vigtigheden af lydrenovering i praksis, når der alligevel renoveres.

Projektet formål er også at belyse, hvilke slags nabostøj (fx musik, trinlyd), der generer, og generernes afhængighed af bygningskonstruktionerne. Projektræsultaterne skal bidrage til at sætte fokus på behovet for ved renovering at forbedre lydforholdene for beboerne, også selvom der i de fleste tilfælde ikke er et direkte krav herom i byggelovgivning.

Projektet blev igangsat som et samarbejdsprojekt ved en udvidelse af igangværende projekter [1] og [2] hos henholdsvis SBI (nu BUILD) og FORCE: *"Implementering af LYDKVALITET ved renovering af etageboligbyggeri – Et pilotprojekt"* (SBI) samt *"Lyds virkning på helbred og velvære"* (FORCE), der afklarer en række metodiske forhold vedrørende udførelse af lyttetest. Det nye projekts fulde projektitel er *"Lyttetestmetode for bygningskonstruktioner - Ny målemetode til belysning af bygningskonstruktioners betydning for lydkarakteristika og genevirkning"* [3].

I tidligere projekter, fx [4], er der gjort erfaringer med sammenhæng med bygningskonstruktioner og målt/beregnet lydisolation, men der mangler viden om sammenhængen med den opfattede lydkarakter, gene og beboertilfredshed. Den seneste nationale sundheds- og sygelighedsundersøgelse (2017), der er udført i 2017, se [5] og [6], viser, at ca. 36 % af beboerne i danske etageboligejendomme er generet af nabostøj.

Formålet med lyttetestmetoden er at kunne give ensartede og reproducerbare bedømmelser af konstruktioners og materialers betydning for de opfattede lydkarakteristika og genevirkningen af forskellige støjklender. Der tages udgangspunkt i problemstillinger, som er relevante for nabo-, installations- og trafikstøj i etageboliger. Hos DELTA (nu FORCE) har der tidligere været udført lyttetest for luftlyd gennem vægge, se [7], [8], [9]

Nærværende samarbejdsprojekt vil specifikt adressere problemstillinger i relation til trinlyd og ventilationsstøj, idet disse typer af støj er væsentlige kilder til gene, men ikke en del af FORCE's projekt [2]. Der er produceret lydeksempler til demonstration af nabostøj (musik, stemmer, trinlyd mm), trafikstøj og ventilationsstøj svarende til forskellige lydkvaliteter for boligen.

## Projektaktiviteter og perspektiver

Der er udført feltnålinger af lydisolation og ventilationsstøj og optaget en lang række lydstimuli til brug ved laboratorielytteforsøg og som demoeksempler.

I projektet gøres eksemplerne (lydfilerne), der er arbejdet med i projektet, tilgængelige som demonstrationer på en hjemmeside med beskrivelser af de tilhørende bygningskonstruktioner. Den faglige og videnskabelige formidling kan også efterfølgende ske fx på konferencer i Danmark og gennem artikler i internationale conferenceproceedings.

Det er hensigten, at resultater fra test udført efter lyttetestmetoden skal kunne udgøre et supplement til de fysiske data for konstruktioner og materialers akustiske egenskaber. Et af perspektiverne er, at man ved hjælp af auraliseringer (lydsimuleringer baseret på originale lydoptagelser) også kan simulere kommende konstruktioner. Auraliseringerne kan endvidere udnyttes til demonstrationer for beslutningstagere m.fl. af ændringer af fx lydisolation ved renovering. Metoden vil kunne videreudvikles med flere konstruktionsdata og lydstimuli og bruges til fx at vurdere alternative konstruktioners eller forbedringers effekt på de oplevede gener. Resultaterne herfra vil kunne indgå i beslutningstageres bedømmelse af en boligs akustiske kvalitet, og fx understøtte, at lydrenovering inkluderes som en integreret del af bygningsrenovering.

Erfaringerne fra projektets lytteforsøg kan bidrage med input til en internationalt standardiseret metode for laboratorielytteforsøg med nabostøj ved indsendelse af forslaget til arbejdsemne i fx ISO/TC 43/SC 2 Building acoustics.

## Rapportens indhold og struktur

Rapporten har overordnet set mest fokus på trinlyd gennem ældre etageadskillelser. Rækkefølgen af afsnit følger projektets arbejdsproces, og rapporten indeholder også hovedresultaterne af de lyttetest, der blev udført efter den udviklede metode. En række supplerende resultater findes i appendikser.

Rapporten indledes med afsnit 2 om danske etageboliger og lydisolation. Derefter følger afsnit 3 om lyd- og støjgener i etageboliger, beboerreaktioner og eksempler på generende/forstyrrende støj. Afsnittet belyser også indflydelsen på sundhed og livskvalitet.

Der er foretaget et litteraturstudie, og hovedtræk af erfaringer fra tidligere laboratorielytteforsøg til vurdering af gener fra nabostøj, især trinlyd, findes i afsnit 4.

I afsnit 5 er beskrevet de udførte feltmålinger af lydisolation og ventilationsstøj samt lydoptagelserne, der efterfølgende benyttes ved laboratorielytteforsøg samt til demoeksempler. I afsnit 6 og 7 beskrives hhv. gennemførelsen af laboratorielytteforsøg med en række testpersoner og hovedresultaterne. Alle lyttetestresultater findes i en samlet rapport [10].

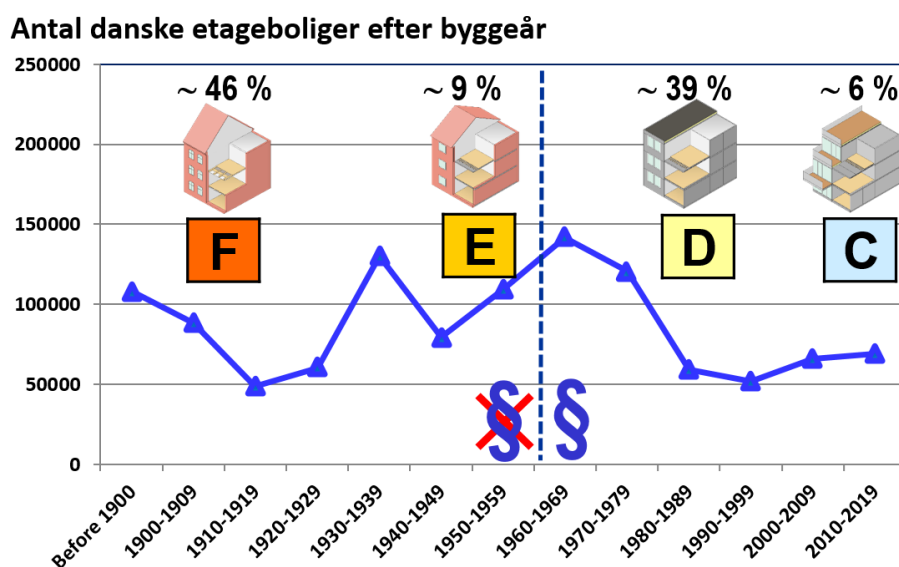
Demoeksempler med lydstimuli for nabostøj og forskellige andre slags støj i boliger er beskrevet i afsnit 8. Konklusioner og forslag til videreudvikling af lyttetestmetoden og til nye lydstimuli er beskrevet i afsnit 9.

I appendiks A er indholdsfortegnelsen til et forslag til en standardiseret metode til laboratorielytteforsøg gengivet. Forslaget er publiceret separat i [11]. I appendikserne B, C og D findes hhv. detailresultater for trinlydmålinger, supplerende analyseresultater fra de gennemførte lyttetest og en model for omregning af SUSY-undersøgelsesernes 3-punktsskala for boligforhold til en international 5-punktsskala.

Figurer og tabeller er nummereret fortløbende gennem hele rapporten.

## 2 De danske etageboliger 1850-2019 og lydkrav i bygningsreglementet

Der er i Danmark i alt ca. 2,7 mio. boliger. Af disse er knapt 1,1 mio. etageboliger, hvoraf over halvdelen er bygget, før der var nationale krav til lydisolationen. I Figur 1 er vist antal etageboliger i henhold til byggeår. Bygninger fra forskellige perioder har forskellige konstruktionskarakteristika og derfor forskellige egenskaber mht. lydisolation. Mere detaljerede oplysninger findes i [1], [4] og [12].



Figur 1. Danske boliger i etageboligbyggeri for tiårs perioder 1900-2019 med indikation af konstruktionstyper og forventede lydklasser F, E, D, C efter DS 490:2018 [13]. Den stiplede linje ved år 1961 viser året for det første nationale bygningsreglement. Lydkravene blev skærpet i 2008.

Kilde antal boliger og byggeår: Danmarks Statistik, 2019 [14]. Note: Data for 2019 er estimeret.

### 2.1 Lydkrav i bygningsreglementet

I bygningsreglementet har der været krav til lydisolationen for boligadskillende konstruktioner i nybyggeri siden 1961. Lydkravene for etageboligbyggeri har i store træk været de samme fra 1961 og frem til Bygningsreglement 2008, hvor kravene blev skærpet. Gældende lydkrav og adgang til tidligere lydkrav findes i [15] og [16], hvor der henvises til måle- og vurderingsmetoder [17]-[21] og i øvrigt til målebetingelser i [22]. Lydkilderne, der benyttes til feltmålinger, er de samme som for laboratoriemålinger og beskrevet i [23].

Bygningsreglementets krav til luftlydisolation og trinlydniveau for perioderne 1961-2008 og fra 2008 findes i Tabel 1. De nugældende krav blev indført i 2008 og er ikke ændret siden. Bygningsreglementets lydkrav gælder ikke ved renovering, med mindre der er anvendelsesændringer (fra fx hospital eller kontorer til boliger), nye boliger i fx tagetager eller ændringer i planløsninger.

Tabel 1. Lydtekniske hovedkrav i bygningsreglementet for boligadskillede konstruktioner i etageboliger i perioden fra 1961 og frem til nu. Kilde: Gengivet/opdateret fra SBI-anvisning 243 [12], tabel 1.

Periode	Boligtype	Luftlydisolation	Trinlydniveau
1961-2008	Etageboliger	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB
Siden 2008	Etageboliger	$R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB

Note: Værdier frem til 1982 er tilnærmet ved omregning til begreber for luftlydisolation,  $R'_w$ , og trinlydniveau,  $L'_{n,w}$ , som benyttes i det nugældende bygningsreglement.

Note: Før 1961 var der ikke landsdækkende, generelle lydkrav.

Fra 2008 sætter Bygningsreglementet krav til, at nye boliger overholder lydklasse C, jf. standarden DS 490. Denne standard blev i 2018 udvidet med to lydklasser E og F og har nu seks lydklasser A-F, hvor A er den højeste og F den laveste. Klasserne er defineret ud fra de to førnævnte akustiske kriterier for luftlyd og trinlyd samt trafikstøj indendørs, støj fra tekniske installationer og efterklangstid. I Tabel 2 beskrives lydklassestandardens seks lydklasser, og det er angivet, hvor stor en andel af beboerne, der forventes af vurdere lydforholdene som gode henholdsvis dårlige.

Tabel 2. Lydklasser for boligbyggeri i henhold til DS 490, Lydklassifikation af boliger [13].

Lydisolation mellem boliger Hovedkriterier i DS 490:2018			Lydklassebeskrivelser og forventet beboervurdering af lydforhold		
Lyd- klasse	Luftlydisolation	Trinlydniveau	Lydklassebeskrivelser	Gode eller meget gode	Dårlige
A	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB	$L'_{n,w} \leq 43$ dB og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 43$ dB	Specielt gode lydforhold	> 90 %	
B	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58$ dB	$L'_{n,w} \leq 48$ dB og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 48$ dB	Tydeligt bedre lydforhold end byggelovgivningens minimumskrav	70-85 %	< 10 %
C	$R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	Svarer til byggelovgivningens minimumskrav	50-65 %	< 20 %
D	$R'_w \geq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	Mindre tilfredsfredstillende lydforhold, beregnet for ældre bygninger	30-45 %	25-40 %
E	$R'_w \geq 45$ dB	$L'_{n,w} \leq 63$ dB	Lydklasse for ældre bygninger med utilfredsfredstillende lydforhold	10-25 %	45-60 %
F	$R'_w \geq 40$ dB	$L'_{n,w} \leq 68$ dB	Lydklasse for ældre bygninger med meget utilfredsfredstillende lydforhold	< 5 %	65-80 %
<b>Note:</b> Inden for den enkelte lydklasse kan procentdelen af beboere, som er tilfredse eller utilfredse, variere lidt fra det ene akustiske kriterium til det andet. Grupperingen er fortrinsvis baseret på den subjektive vurdering af luftlydisolation mellem boliger og trinlydniveau fra omliggende boliger.					

Bemærk, at selv i lydklasse C svarende til bygningsreglementets lydisolationskrav forventes op til 20 % af beboerne at vurdere lydforholdene som dårlige. Lydklasserne E og F blev indført i 2018 for at kunne lydklassificere ældre boliger bygget før ca. 1960 og dermed give mulighed for lydmærkning af boliger i lighed med energimærkning, så der kan blive mere opmærksomhed om den lave lyd kvalitet i ældre boliger.

Når det gælder støj i boligen fra tekniske installationer, findes lydklasserne i DS 490 [13], tabel 4. Tabellen er gengivet nedenfor i Tabel 3. For lydklasse C er grænseværdien for maksimalt støjniveau 30 dB gældende indendørs i boligerne for bygningens tekniske installationer. For installationsstøj fra erhvervsenheder samt udendørs støj gælder andre værdier, se bygningsreglementets vejledning [16]. Grænseværdien er principielt den samme for alle installationer, dvs. fx varmeanlæg, ventilationsanlæg vand, afløb, emhætte, elevatorer, men målebetingelserne varierer. Grænseværdierne gælder for umøblerede rum og for installationerne hver for sig. Bemærk, at med de mere og mere skærpede krav til energibesparelser kan der være mange nye støj kilder, og for soveværelser kan anbefales lydklasse B. Nogle bygherrer bruger lydklasse B som krav til ventilationsstøj for at undgå klager.

Tabel 3. Lydklasser for støj fra tekniske installationer. Grænseværdier for støj i boligen angivet som højeste værdier for A-vægtet ækvivalent lydtrykniveau,  $L_{Aeq,T}$ . Gengivet fra DS 490:2018 [13].

Rumtype	Måle- størrelse	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D	Klasse E	Klasse F
I beboelsesrum, køkkener og fælles opholdsrum	$L_{Aeq,T}$	$\leq 20$ dB	$\leq 25$ dB	$\leq 30$ dB	$\leq 35$ dB	$\leq 40$ dB	Ingen Krav

Grænseværdierne for lydtrykniveauer indendørs fra trafikstøj er vist i Tabel 4 for de seks lydklasser A-F. Grænseværdierne er relateret til den gennemsnitlige årsdøgntrafik og gælder veje og jernbaner hver for sig. Grænseværdier for trafikstøj er relateret til møblerede rum med lukkede vinduer og døre, men med udeluftventiler i åben position. Under andre rumforhold foretages korrektioner i overensstemmelse med [22].

Tabel 4. Lydklasser for trafikstøj indendørs – Grænseværdier angivet som højeste værdier for  $L_{den}$ . Gengivet fra DS 490:2018 [13].

Rumtype	Støj- indikator	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D	Klasse E	Klasse F
I beboelsesrum, køkkener og fælles opholdsrum	$L_{den}$	$\leq 23$ dB	$\leq 28$ dB	$\leq 33$ dB	$\leq 38$ dB	$\leq 43$ dB	Ingen krav

## 2.2 Danske etageboligers lydmæssige tilstand og renoveringsbehov

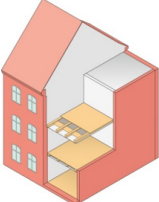
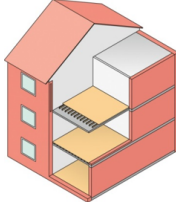
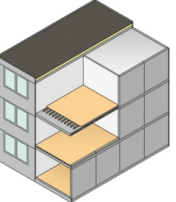
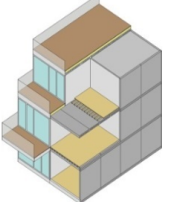
Figur 2 viser hovedkarakteristika for danske etageboliger, bygget i forskellige tidsperioder med principskitser af bygningstyperne, simplificerede oplysninger om tidsperioder, antal boliger og med angivelse af boligernes forventede lydisolation. Konstruktionstyperne i danske etageboliger kan kort beskrives som angivet i Figur 2. De nugældende danske lydkrav findes i Bygningsreglement 2018 [15], som også giver adgang til alle tidligere bygningsreglementer, og [16] som refererer til lydklasse C i [13] som minimumskrav.

Mere detaljerede oplysninger findes i [12], [4] og [24]. Bygningstyperne betegnes her E1, E2, E3 og Nybyggeri. Figur 2 viser også de forventede lydklasser F, E, D, C i henhold til [13]. En kort beskrivelse af lydklasserne ses i Tabel 2. Af Figur 2 fremgår det, at næsten halvdelen (ca. 500.000) af de danske etageboliger er Bygningstype E1, som har træetageadskillelser og er bygget før 1950. De er altså opført, inden der blev indført lydkrav i bygningsreglementet. Hvad angår lydisolering mod nabostøj, er disse boliger langt under dagens krav. Boligerne forventes at tilhøre lydklasse F. Omkring 100.000 boliger, Bygningstype E2, har støbte etagedæk og er bygget 1930-1960. Grundet små dækykkelser og gulvkonstruktioner med lav trinlyddæmpning er de også betydeligt under dagens standard og forventes at tilhøre lydklasse E. Af de cirka 400.000 etageboliger, Bygningstype E3, der er opført som betonelementbyggeri efter 1960, vil de fleste også ligge under dagens kravniveau, og den forventede lydklasse er D.

Fra Figur 1 og Figur 2 ses, at kun ca. 6 % af alle etageboliger er bygget efter at de seneste skærper af bygningsreglementets lydisolationskrav i 2008 har fået effekt. På figurene er de betegnet "Nybyggeri". Byggetekniske løsninger for nybyggeri findes i SBI-anvisning 237 [25].

Disse fakta indikerer, at lydforholdene i de fleste danske etageboliger ikke er tidssvarende.

## Etageboliger i Danmark, konstruktionstyper, estimeret lydisolations og lydklasse

Bygningstype E1 Ældre muret byggeri med træetageadskillelser Periode: ~ 1850 til 1930/1950 Antal boliger i Danmark: ~ 500.000	Bygningstype E2 Muret byggeri med støbte etageadskillelser Periode: ~ 1930 til 1960 Antal boliger i Danmark: Op til ~ 100.000	Bygningstype E3 Betonelementbyggeri Periode: ~ 1960 til 2009 Antal boliger i Danmark: ~ 400.000	Nybyggeri Betonelementbyggeri Periode: ~ 2010 til 2019 Antal boliger i Danmark: ~ 65.000
			
Lydkrav: Nej	Lydkrav: Nej	Lydkrav: BR1961-BR1995	Lydkrav: BR2008-BR2018
Estimeret lydisolations: $R'_w \sim 42-50$ dB $L'_{n,w} \sim 63-75$ dB	Estimeret lydisolations: $R'_w \sim 45-53$ dB $L'_{n,w} \sim 58-67$ dB	Estimeret lydisolations: $R'_w \geq 52-53$ dB $L'_{n,w} \leq 58$ dB	Estimeret lydisolations: $R'_w \geq 55$ dB $L'_{n,w} \leq 53$ dB
DS 490:2018 Lydklasse: F	DS 490:2018 Lydklasse: E	DS 490:2018 Lydklasse: D	DS 490:2018 Lydklasse: C

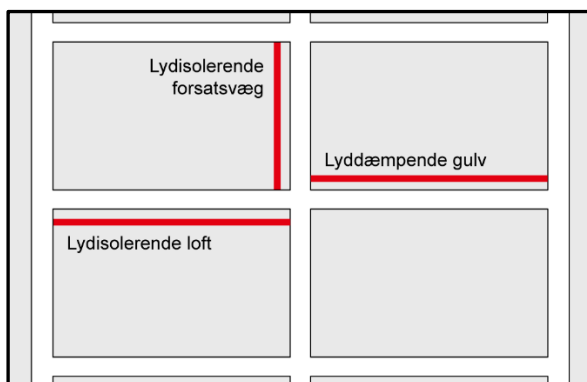
Figur 2. Bygningstyper og hovedkarakteristika for dansk etageboligbyggeri. Bygningstyperne betegnes E1, E2, E3 som i SBI-anvisning 243 [12]. Mht. lydkrav: Se Tabel 1. Kilde: Tabel opdateret fra [4] og [24].

Note: Ved typen Nybyggeri er der regnet med, at den faktiske implementering af de skærpede krav i bygningsreglementet i 2008 i praksis først er sket fra cirka 2010, idet tidspunktet for byggetilladelsen er afgørende for lydkravene.

I Figur 3 ses typiske etageadskillelser for bygningstyperne E1, E2, E3. Der er flere måder at forbedre lydisolationen på i eksisterende etageboligbyggeri. De mest almindelige – nye underlofter, gulve og forsatsvægge – er illustreret i Figur 4. Beskrivelser af konstruktionerne og løsninger til forbedring findes i [12].



Figur 3. Typiske etageadskillelser i dansk etageboligbyggeri for bygningstyperne E1, E2 og E3 fra forskellige perioder. Etageadskillelser i nybyggeri er principielt som for E3, men med tykkere betondæk og bedre trinlyddæmpende gulve.



Figur 4. Hovedprincipper for forbedring af lydisolations symboliseret med røde markeringer. Kilde: Gengivet fra [4], Fig.9.

Et langsigtet mål vha. opfølgende projekter efter [3] er på projektstadiet at kunne simulere lydstimuli før og efter renovering, så demonstration af lydstimuli kan indgå i beslutningsgrundlaget for renovering.

### 3 Oplevede lyd- og støjgener i etageboliger og beboernes reaktioner

I Danmark er der ikke gennemført dybtgående undersøgelser af nabostøj og støjgener, men Statens Institut for Folkesundhed (SIF) gennemfører nationalt repræsentative sundheds- og sygelighedsundersøgelser (SUSY) af den voksne danske befolkning (16 år eller derover), hvor nabostøj og trafikstøj indgår med hver et spørgsmål under boligmiljø. Spørgeskemaerne findes i [26]. I disse undersøgelser indsamles data om sundhed og sygelighed samt forhold af betydning herfor. Gener i boligmiljøet er blevet belyst ved hjælp af en række spørgsmål til konkrete miljøgener inden for de seneste 14 dage, se resultater fra SUSY-2017 i [5] og [6].

Et kortfattet overblik over SUSY-undersøgelserne siden år 2000 findes i Tabel 5 med angivelse af, hvilke støjrelaterede miljøforhold svarpersonerne blev præsenteret for i undersøgelserne siden år 2000. Svarpersonerne blev bedt om at oplyse, i hvor høj grad de har været generet af de enkelte forhold. Svarmulighederne var "Ja, meget generet", "Ja, lidt generet" og "Nej" i alle fem undersøgelsesår.

Tabel 5. Oversigt over Sundheds- og sygelighedsundersøgelserne 2000-2017 samt spørgsmål om støjgener i boligen i disse undersøgelser. Tabel gengivet fra [6]. Spørgeskemaerne findes i [26].

År	Dataindsamlingsmetode	Antal inviterede	Antal svarpersoner / svarprocent (%)	Spørgsmål om støjgener inde i boligen inden for de seneste 14 dage
2000	Personligt interview	22.484	16.688 / 74 %	Støj fra trafikken; støj fra installationer (fx afløb, radiatorer, køleskab); støj fra naboer; støj fra nærtliggende erhvervsvirksomhed; infralyd eller lavfrekvent støj (dybe brummelyde).
2005	Personligt interview	21.832	14.566 / 67 %	Støj fra trafikken; støj fra installationer (fx afløb, radiatorer, køleskab); støj fra naboer; støj fra nærtliggende erhvervsvirksomhed.
2010	Selvadministreret	25.000	15.165 / 61 %	Støj fra trafikken; støj fra installationer (fx afløb, radiatorer, køleskab); støj fra naboer; støj fra nærtliggende erhvervsvirksomhed.
2013	Selvadministreret	25.000	14.265 / 57 %	Støj fra trafikken; Støj fra naboer.
2017	Selvadministreret	25.000	14.022 / 56 %	Støj fra trafikken; Støj fra naboer. Hvis man har været generet, blev man bedt om at svare på, hvilken slags støj man har været generet af (et multiple-choice spørgsmål).

Tabel 6 viser andelen, der angiver, at de inden for de seneste 14 dage har været meget eller lidt generet af henholdsvis nabostøj og trafikstøj, fordelt efter boligtype. Andelen, der har været generet af nabostøj, er for etageboliger overordnet set nogenlunde uændret ca. 35 % i perioden 2010 til 2017. For samme periode viser tabellen for etageboliger, at andelen af personer, der har været generet af trafikstøj, er ca. 19 % i gennemsnit, altså betydeligt mindre end for nabostøj.



Tabel 6. Andel, der inden for de seneste 14 dage har været generet (meget eller lidt) af trafikstøj og nabostøj i boligen fordelt efter boligtype. Resultater fra SUSY-undersøgelserne 2000-2017. Tabel fra [6].

SUSY År	Nabostøj					Trafikstøj				
	I alt	Enfamili- liehuse	Række- og dobbelt- huse	Etage- boliger	Andet	I alt	Enfamili- liehuse	Række- og dobbelt- huse	Etage- boliger	Andet
2000	(7,7)*	(2,6)*	(9,1)*	(19,1)*	(10,9)*	6,3	4,2	5,7	11,5	5,6
2005	(9,0)*	(4,4)*	(9,8)*	(21,2)*	(12,1)*	8,1	5,2	7,5	15,6	7,2
2010	15,6	4,2	10,6	35,8	23,8	9,6	5,3	4,8	18,4	11,2
2013	15,4	3,8	12,2	34,4	26,5	9,6	5,9	6,4	16,4	11,2
2017	16,7	5,5	11,8	35,6	21,8	14,0	9,8	10,8	21,6	12,5
* Metodeændringer har medført, at resultater fra før 2010 ikke er sammenlignelige med resultater fra 2010, 2013 og 2017										

De danske SUSY-undersøgelser er nationalt repræsentative og kan kvantificere det samlede omfang af nabostøj som oplevet af beboerne, men uden muligheder for at identificere bygnings- og adfærdsmæssige svagheder. Der er heller ikke detaljer om, hvilke slags nabostøj der generer eller oplysninger om konsekvenserne i forhold til livskvalitet. Dog blev der i 2017 suppleret med nogle få ekstra lidt mere specifikke spørgsmål om forskellige slags nabostøj, se [6]. Henvendelser til BUILD (tidligere SBI) om nabostøj forekommer jævnlige og er typisk fra beboere, der gennem flere år har haft stigende gener af nabostøj, især søvnforstyrrelser, og nu ønsker at gøre noget ved deres bolig for at reducere nabostøjen, alternativt at flytte. Sådanne henvendelser kan imidlertid ikke bruges til at vurdere det nationale omfang af nabostøjgener, men er udmærkede til at identificere og forstå problemerne, som sandsynligvis er karakteristiske for mange andre. Henvendelserne viser, at nabostøj kan have så stor negativ indflydelse på livskvaliteten, at beboerne er klar til at flytte fra en bolig, som de ellers virkeligt værdsætter på alle andre måder, såfremt der ikke sker forbedringer af lydisolationen.

Nabostøj er blevet belyst i flere udenlandske, nationale undersøgelser. Så vidt vi ved, er den største nationalt repræsentative undersøgelse udført i UK med over 2.700 face-to-face interviews. Undersøgelsen hedder NNAS2012 [27], er udført af DEFRA og meget omfattende, idet den inkluderer detaljerede, meget relevante, interessante, dybtgående spørgsmål om bl.a. mange forskellige støj-kilder, tidspunkt på døgnet, hyppighed, støjens indflydelse på dagliglivet i hjemmet, søvn, gener, forstyrrelser af aktiviteter, emotionelle reaktioner, og hvad den interviewede eventuelt har gjort i tilfælde af generende støj. Nabostøjundersøgelser i UK er beskrevet mere kortfattet i [28] og [29], hvor også beboerreaktioner er omtalt. Andre relevante referencer er [30] og [31], der beskriver undersøgelser i hhv. NL og NO, samt [32] der præsenterer nogle hovedresultater fra [31]. Begge undersøgelser følger retningslinjerne i ISO/TS 15666 [33], som definerer en verbal 5-punktsskala og en numerisk 11-punktskala til valgfri anvendelse i spørgeskemaer samt en tidsperiode på 12 måneder. Spørgeskemaerne i [30] og [31] har anvendt hhv. den numeriske og verbale skala fra ISO/TS 15666. Et negativt yderpunkt i nabostøjsspørgsmål er EU-SILC survey [34], hvor der kun er ét samlet spørgsmål om nabo- og trafikstøj mv. med svarmuligheden ja eller nej, se en kort beskrivelse i [35].

Støjspørgsmålene om boligforhold i de danske SUSY-undersøgelser følger ikke skala eller tidsperiode i ISO/TS 15666, se spørgeskemaerne i [26] eller eksempel i Figur 30 i Appendiks D. I Appendiks D er givet et forslag til konvertering af SUSY-2017's 3-punktsskala til den verbale 5-punktsskala fra ISO/TS 15666 [33]

til senere anvendelse ved sammenligning mellem eventuelle nye undersøgelser med 5-punktsskalaen og eksisterende resultater med 3-punktsskalaen.

De danske SUSY-undersøgelser har til hovedformål at give information om befolkningens helbredsforhold. I SUSY-2017 er der i alt 99 hovedspørgsmål, hvoraf de fleste har en række underspørgsmål, så der er i alt ca. 350 spørgsmål at besvare. Spørgsmålene om gene af nabostøj og trafikstøj er i hovedspørgsmål 74 (sammen med tre andre boligmiljørelaterede spørgsmål). Imidlertid er det muligt at foretage analyser af sammenhænge mellem svarene på støjspørgsmålene og en række helbredsrelaterede spørgsmål andre steder i det samlede spørgeskema. Sådanne analyser er beskrevet i [36], [37] og [38] og resumeret i [6]. De supplerende analyser af SUSY-undersøgelserne viser, at for beboere i etageboligbyggeri er der en stærk sammenhæng mellem:

- Nabostøjgener og højt stressniveau
  - Nabostøjgener og dårligt mentalt helbred
  - Nabostøjgener og træthed
  - Nabostøjgener og søvnproblemer
  - Nabostøjgener og smerter i nakke, skuldre
- Note: Tværsnitsstudier, så kausalitet kendes ikke.

Det konkluderes i [6], at *"de nye danske projektresultater kan bidrage til tydeliggørelse af nabostøjs potentielle helbredseffekter og af, at nabostøj er en reel gene, der kan påvirke helbredet negativt, og derfor er lydrenovering vigtig i boligbyggerier med utilstrækkelig lydisolation"*.

I Tabel 7 vises eksempler på generende/forstyrrende nabostøj og på aktiviteter, der forstyrres. Eksemplerne er fra [27], [29], andre surveys og nationalt input i DK.

Tabel 7. Eksempler på generende/forstyrrende typer støj fra naboer samt på konsekvenser for egne aktiviteter. Kilder: Baseret på [27], [29], andre surveys og nationalt input i DK.

Generende/forstyrrende nabostøj	Egne aktiviteter, der forstyrres
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Naboers fodtrin</li> <li>◆ Børn, der hopper/løber/leger</li> <li>◆ Stemmer/råb/diskussioner</li> <li>◆ Hundegøen</li> <li>◆ Radio, TV, musik</li> <li>◆ Fester</li> <li>◆ Naboers DYI (gør-det-selv)</li> <li>◆ Smækkende døre, låger, wc-brætter</li> <li>◆ Støvsugning</li> <li>◆ Stole/møbler, der flyttes</li> <li>◆ Ting, der tabes på gulvet</li> <li>◆ Telefon, vækkeur, radio, der står/ligger på gulvet</li> <li>◆ Spædbørns gråd</li> <li>◆ Diverse lyde fra brug af wc</li> <li>◆ Toiletskyl og afløb fra bad</li> <li>◆ Vaskemaskiner osv.</li> <li>◆ Tekniske installationer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Søvn</li> <li>◆ Brug af rummene i boligen</li> <li>◆ Lytning til TV, radio, musik</li> <li>◆ Stille aktiviteter, fx læsning, hvile</li> <li>◆ Samtaler</li> <li>◆ Studier</li> <li>◆ Aktiviteter, der involverer frembringelse af lyd eller støj</li> </ul>

Mens nabostøjspørgsmålene mangler eller har yderst beskedent omfang i de fleste befolkningsundersøgelser, idet der fokuseres mest på trafikstøj, se fx [35], har nogle få udenlandske undersøgelser, fx [27], inkluderet mange af emnerne i Tabel 7, og en del af de nævnte typer støj er med i lyttetestforsøgene beskrevet i denne rapport, se afsnittene 5, 6 og 7 samt lyttetestrapporten [10]. Nabostøjgenerne for beboere i danske etageboliger er samlet set meget omfattende, og det er relevant at udbygge viden om, hvilke bygningskonstruktioner og hvilke støjtyper der giver de største gener. Derfor bør der ved fremtidige lyttetest og projekter inkluderes kombinationer af flere typer støj og bygningskonstruktioner, dels for at belyse den oplevede lydisolation for disse kombinationer, dels for at belyse, hvilke typer lyd/støj, der påvirker mennesker mest negativt med forringelse af livskvalitet og helbred som konsekvens.

## 4 Erfaringer fra tidligere laboratorielytteforsøg til vurdering af gener fra nabostøj og ventilation

Hovedfokus i projektet er lytte-test og boligens støj-kilder, der behøver mere fokus i Danmark, fordi de giver anledning til mange klager. Indsatsen vil kunne skabe øget viden og opmærksomhed ved renovering af boliger og i lovgivningen.

De støj-kilder, der er mest relevante i forhold til ovenstående og projektets afgrænsning, er trinlyd, se 4.1, og ventilationsstøj, der indgår i 4.2 under andre støj-kilder. Der er søgt efter udenlandsk litteratur for lytte-test på disse områder.

### 4.1 Trinlyd

Standardiserede kilder til trinlyd er bankemaskinen og en tung gummibold, begge beskrevet i [23]. Andre er ikke standardiserede, men alligevel brugt til lytte-test, fordi de svarer mere til oplevet lyd i boliger, se eksempler i det følgende.

#### *Finland*

I Finland er der udført forskellige forsøg med den subjektive og den objektive bedømmelse af typiske trinlyde [39]. Lydoptagelserne er foretaget i et laboratorium til test af trinlyd, der overholder ISO 10140-5 [23]. Der er testet ni forskellige svømmende gulvkonstruktioner, alle på 265 mm betonhuldæk. Ved forsøgene er der testet fem trinlydkilder:

- Gang med hårde sko
- Gang med strømpesokker
- Gang med bløde sko
- Hoppebold (50 g)
- Stol der flyttes

Lytteforsøgene er gennemført i et psykoakustisk laboratorium med 55 individuelle deltagere. Lydene blev afspillet fra fire højttalere og en subwoofer. Højttalerne var placeret over et nedhængt loft i laboratoriet, således at højttalerne ikke kunne ses. Subwooferen var placeret på gulvet, bag et tungt gardin.

Der blev i forsøget fundet sammenhænge med de subjektive vurderinger og objektive parametre for de forskellige kilder. Der blev kun testet tunge konstruktioner i disse forsøg, og konklusionen er, at parameteren  $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$  (beskrevet i ISO 717-2 [20]) vil være bedst til at beskrive alle typer konstruktioner. Dette blev begrundet i, at  $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$  generelt havde god korrelation med de forskellige kilder, og at der i andre undersøgelser af lettere etagedæk var fundet god korrelation med forskellige kilder.

## *Korea*

I Korea er der udført test med den standardiserede gummibold fra ISO 10140-5 [23]. Gummibolden er en solid gummibold med en vægt på 2,6 kg. Der er tidligere fundet sammenhæng mellem anslag fra bolden og børn, der løber eller hopper. Der er i [40] undersøgt, hvilke objektive parametre der har den bedste sammenhæng med bedømmelsen af tilfredshed (satisfaction) for anslag med gummibolden. Der blev udført tests i typiske koreanske etageboliger bygget i armeret beton, og lyttetesten blev udført med 120 forsøgsdeltagere i lytterum. Der deltog 4-5 personer i samme lytterum ad gangen. Resultaterne af undersøgelserne var, at den aritmetiske middelværdi og  $L_{A,Fmax}$  vil kunne anvendes som objektivt mål for denne type bygningskonstruktioner.

I Korea er der yderligere blevet udført tests af, hvordan tre standardiserede trinlydkilder repræsenterer lavfrekvent indhold i trinlyd i 40 typiske koreanske etageboliger bygget i armeret beton. Målingen blev udført på gulve, hvor der var udført trinlyddæmpende tiltag. Der blev udført test med følgende kilder:

- Bankemaskine, beskrevet i ISO 10140-5 [23]
- "Bang machine" (fald-arm med gummihjul monteret for enden), beskrevet i KS F 2810-2 [41]
- Gummibold, beskrevet i ISO 10140-5 [23]

Konklusionen af disse undersøgelser var, at bankemaskinen ikke var egnet til at beskrive det lavfrekvente indhold af trinlydkilderne for denne type etageadskillelser.

## *Europæisk projekt - Acuwood*

I AcuWood projektet [42] blev der i bygninger i Tyskland og Schweiz samt i et laboratorie i Tyskland udført målinger på træeteageadskillelser. I dette projekt blev der anvendt følgende kilder:

- Bankemaskine, beskrevet i ISO 10140-5 [23]
- Gummibold, beskrevet i ISO 10140-5 [23]
- Gang med normale sko
- Gang med strømpesokker
- Gang med høje hæle (kun i laboratorie)

Der blev foretaget lyttetests med hovedtelefoner. En af de mange konklusioner er, at den standardiserede gummibold repræsenterer en gående person bedst.

## 4.2 Andre støjklider

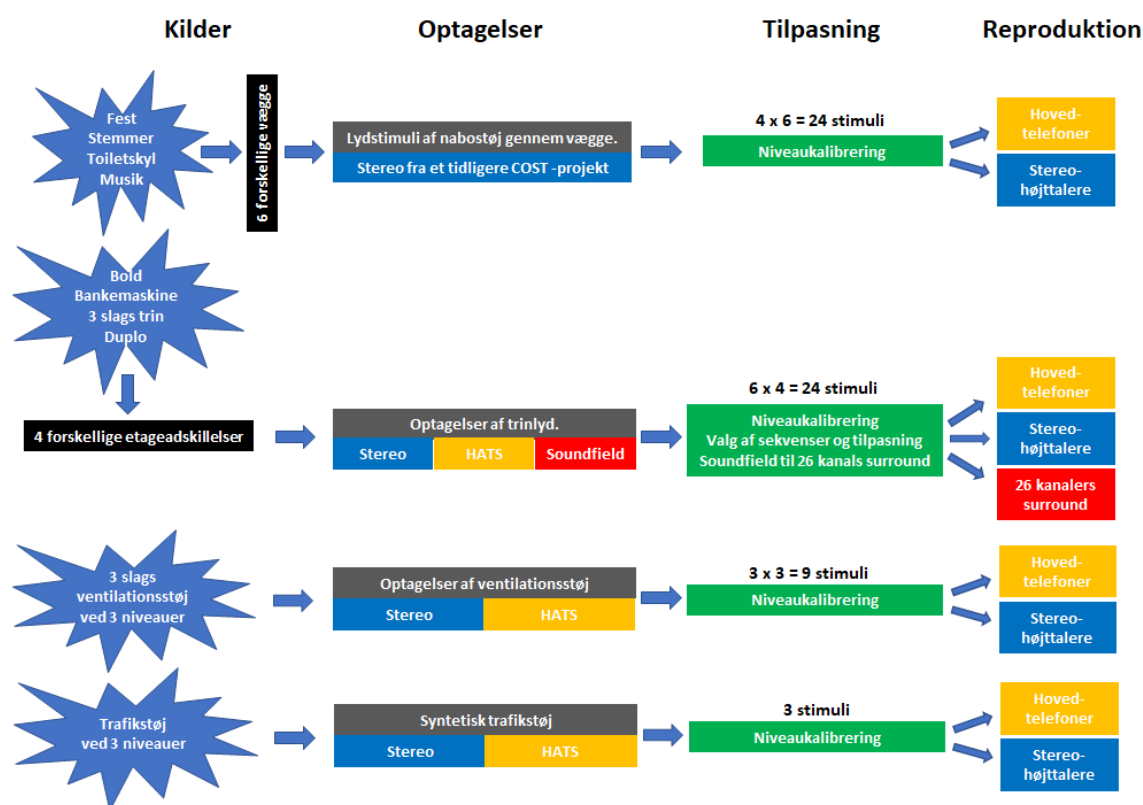
**Luftlyd:** Hvad angår lyttetest med luftlyd (musik osv.), er der en del publikationer, men ikke enighed om konklusionerne, hvad angår enkelttalsværdier. Frekvensområdet synes at være det emne, der er mest uenighed om, se [43], og som kunne indgå i et eventuelt fremtidigt, dansk projekt.

**Ventilationsstøj:** Vi har ikke fundet relevante referencer til tidligere lytteforsøg med ventilationsstøj, men emnet er yderst relevant, da energibesparelser og øget fokus på indeklima samt lovgivningen betyder øget anvendelse af ventilationsystemer, også ved renovering – og der er en del klager over støjen.

## 5 Planlægning af laboratorielytteforsøg og fremstilling af lydstimuli

Fremstilling af lydstimuli til lyttetest og demoeksempler er foretaget med fokus på at kunne teste flere forhold. Det første er at teste forskellige typer kilder: Nabostøj gennem vægge, trinlyd gennem etageadskillelser, typer af ventilationsstøj og forskellige styrker af trafikstøj.

Yderligere har et formål med dette projekt været at teste, hvilke teknikker til lyd-gengivelse, der bedst kan anvendes til disse typer målinger med lyttetest. Der er derfor foretaget optagelser med forskellige typer optageudstyr for de forskellige typer kilder. Kombinationerne anvendt til lytteforsøgene er vist i Figur 5.



Figur 5. Overblik over støjkloder, de foretagne optagelser og gengiveteknikker. Stereoptagelserne blev udført med to målemikrofoner. HATS betegner kunsthovedoptagelser og soundfield er en særlig mikrofon der bruges til surround-optagelser. Trafikstøjen er en simulation af hvordan trafikstøj høres indendørs. Lytterne (assessorerne) bedømte genevirkningen og for ventilationsstøj også accept af støjen.

### 5.1 Feltmålinger trinlyd og luftlyd i henhold til ISO 16283

For at kunne relatere stimuli, der bliver bedømt i lyttetesten, til bygningsdeles akustiske egenskaber, skal der udføres måling af luftlydisolation og/eller trinlyd-

niveau i henhold til hhv. ISO 16283-1 [17] og ISO 16283-2 [18]. Til sammenligning med lyttetest af trinlyde er der derfor brug for at måle trinlydniveauet af den givne bygningskonstruktion med en bankemaskine. Principielt er det ikke nødvendigt at kende luftlydisolationen til nærværende formål, men for at sikre at der ikke er atypisk luftlydisolation i rummene berørt af målingerne, anbefales det at måle luftlydisolationen. Til brug for lyttetest af luftlydisolation er der brug for at måle denne for den givne bygningskonstruktion.

## Anvendte typer boliger

Trinlydniveauerne for konstruktionerne testet i dette projekt er vist i Appendix B, og gengivet i Tabel 8. Der er udført lyttetest for fire konstruktioner, hvoraf der i dette projekt er udført målinger og lydoptagelser for konstruktion 1 og 2.

Til brug for gulvkonstruktion 3 er der beregnet et gennemsnit af 12 gulvkonstruktioner, målt i bebyggelsen Lunden, beskrevet i [46].

Forskellen på trinlydniveau målt med bankemaskine for gulvkonstruktion 2 og 3 er anvendt til at simulere trinlyde for gulvkonstruktion 3 ud fra optagelserne af gulvkonstruktion 2. For at vurdere om denne metode giver repræsentative resultater er gulvkonstruktion 2a udarbejdet efter samme metode, ved at anvende forskelle i trinlydniveau målt med bankemaskine for gulvkonstruktion 1 og 2, og herefter simulere trinlyde for gulvkonstruktion 2a ud fra optagelserne af gulvkonstruktion 1. Dette er nærmere beskrevet i Appendix B og i [10].

Ønsket i projektet var at lave trinlydoptagelser og -målinger i bygninger fra forskellige bygningskategorier/klasser. Det viste sig dog umuligt/svært at få adgang til de relevante boliger, idet boligforeningerne, der blev taget kontakt til, ikke havde et egentligt incitament til at bidrage, men skulle bruge tid på kontakt til beboere for at muliggøre optagelser og målinger. Vi brugte fx lang tid på kontakt til forskellige boligforeninger med bygningstype E3, uden at dette førte til, at der kunne udføres målinger i sådanne boliger.

Tabel 8. Trinlydniveauer, information om bygninger og lydklasse for konstruktioner testet i lyttetest.

Gulvkonstruktions nr.	Etageadskillelse	Opførelsesår bolig	Bygnings-type	Målt / Simuleret	Måle-resultat $L'_{n,w}$	Lydklasse DS 490 [13]	Grænseværdi i lydklasse	Datablad
1	Trægulv på træbjælkelag	1891	E1	Målt	65 dB	F	$\leq 68$ dB	Appendix B Figur 16
2	Trægulv på in-situ beton	1955-1959	E2	Målt	57 dB	D	$\leq 58$ dB	Appendix B Figur 17
2a	Trægulv på in-situ beton	1955-1959	E2	Simuleret	57 dB	D	$\leq 58$ dB	Appendix B Figur 18
3	Trægulv på betonhuldæk	1971 Renoveret: 2010-2012	E3	Målt / Simuleret	53 dB	C	$\leq 53$ dB	Appendix B Figur 19

I dette projekt er der kun udført lyttetest på trinlyde for gulvkonstruktioner, men ikke lyttetest for luftlyd gennem disse. Der er dog udført måling af luftlydisolation for etageadskillelse 1 for at tjekke, at lydisolationen er som forventet og at der fx ikke er store utætheder. I det tidligere projekt [4] er der udført målinger af lydisolation i bebyggelserne med gulvkonstruktion 2, se [44] og [45], samt gulvkonstruktion 3, se [46] og [47]. En oversigt kan ses i Tabel 9.

Tabel 9. Luftlydisolation, information om bygninger og lydklasse for konstruktioner benyttet i lyttetest.

Gulvkonstruktions nr.	Etage adskillelse	Opførelsesår bolig	Bygnings-type	Målt / Simuleret	Måleresultat $R'_w$	Lydklasse DS 490 [13]	Grænseværdi i lydklasse
1	Trægulv på træbjælkelag	1891	E1	Målt	47 dB	E	$\geq 45$ dB
2	Trægulv på in-situ beton	1955-1959	E2	Målt	54-55 dB	D C	$\geq 50$ dB $\geq 55$ dB
3	Trægulv på betonhuldæk	1971 Renoveret: 2010-2012	E3	Målt / Simuleret	57-59 dB	C	$\geq 55$ dB

## 5.2 Feltmålinger ventilationsstøj efter ISO 10052 og ISO 16032

Ved optagelse af ventilationsstøj til lytteforsøg blev der lagt et stort arbejde i at skaffe adgang til boliger, hvor der er installeret forskellige typer ventilationsanlæg. For at skaffe adgang til disse typer boliger, blev der taget kontakt til KAB, som formidlede kontakt til underafdelinger med forskellige typer ventilation. Det blev forsøgt at skaffe adgang til boliger med følgende typer ventilationsanlæg:

- MK: Mekanisk kontroludsugningsanlæg (ventilatorer) for udsugning fra boliger.
- CLS: Centrale luftskifte ventilationsanlæg (aggregater) for luftskifte i flere boliger.
- DLS: Decentrale luftskifte ventilationsanlæg (aggregater) i den enkelte bolig.

I praksis var det kun muligt at skaffe adgang til boliger fra ca. 1958 i et etageboligbyggeri med typen centralt luftskifteanlæg. I forbindelse med målingerne blev der udført optagelser i fire forskellige boliger i forskellige opgange, som er tilkoblet forskellige centrale udsugningsmotorer. Målingerne blev udført i februar 2019.

Bygningerne er betonbyggerier af bygningstype E3, se Figur 2.

Ved lydoptagelserne blev der udført målinger ifølge ISO 10052 [21], i positioner som foreskrevet i SBi anvisning 217 [22]. ISO 10052 er en overslagsmetode, som der henvises til i bygningsreglementets lydkrav, men som ikke inkluderer korrektion for baggrundsstøj. Det var derfor besluttet også at udføre målinger ifølge ISO 16032 [48], som er en teknikermetode, der inkluderer korrektion for baggrundsstøj. Det var dog ikke muligt at slukke ventilationsanlæggene, hvorved korrekte målinger ikke kunne udføres som foreskrevet i ISO 16032.

Niveauerne i boligerne, målt ifølge ISO 10052 [21], var i intervallet 25-32 dB, og med korrektion + 3 dB, fordi der er målt i møblerede rum, bliver intervallet 28-35 dB. Dette placerer boligerne i henhold til DS 490 [13], i lydklasse C ( $\leq 30$  dB) og D ( $\leq 35$  dB). De laveste målte niveauer i boligerne, fjernt fra ventilation og vinduer, var i størrelsesordenen 24 dB. Lydkrav til nybyggeri er ifølge bygningsreglementet overholdelse krav til lydklasse C. Der vil således være målinger i nogle af boligerne, der overholder lydkrav for nyere bygninger.

Grundet fokus på, at optagelser kan anvendes til lytteforsøg, har der i dette forsøg ikke været yderligere fokus på forskellen mellem måleresultater ifølge ISO 10052 og ISO 16032. Det er en kendt problemstilling, at der ved nybyggeri kan være problemer med tilstrækkeligt lave baggrundsstøjniveauer til at støjbidrag fra ventilation kan måles ifølge ISO 10052 som foreskrevet i SBi anvisning 217 [22] og [16]. Det er muligt at foretage korrektion af baggrundsstøj ifølge ISO 16032, og det bør derfor overvejes, om ISO 16032 er mere fordelagtig at anvende i fremtiden.



### 5.3 Feltoptagelser lydstimuli til laboratorielytteforsøg med trinlyd

Feltoptagelser af lydstimuli til laboratorieforsøg er udført som beskrevet i lytte-testmetoden for nabostøj [11], Appendix 2. Optagelserne er opdelt i tre typer:

1. Standardiserede kilder: Bankemaskine og standardiseret gummibold
2. Stationære kilder: Hverdagskilder der tabes/smides på gulvet
3. Kontinuert bevægelige kilder: Gang og lign.

Optagelserne blev foretaget i underliggende lejlighed med målemikrofon, HATS (Head and Torso Simulator) og Soundfield mikrofon, se Figur 6. En oversigt over måleudstyr findes i [10], afsnit 4.



Figur 6. Lydoptagelser med HATS (Head and Torso Simulator, B&K 4100) og Soundfield mikrofon.

Lydoptagelserne blev udført i oktober 2018. Der blev udført optagelser i to lejligheder, første lejlighed med gulvkonstruktion 1 (trægulv på træbjælkelag), anden lejlighed med gulvkonstruktion 2 (trægulv på in-situ beton). I begge lejligheder blev der først udført optagelser af de standardiserede kilder – bankemaskine og standardiseret gummibold. Disse kilder er betydeligt kraftigere end typiske påvirkninger af gulvet i boliger, og derfor blev følsomheden af mikrofonerne skruet op ved de efterfølgende lydoptagelser af mindre kraftige lydkilder.

De standardiserede kilder blev optaget med anslag på fire målepositioner, jf. ISO 16283-2 [18]. De stationære kilder blev benyttet på samme positioner som de standardiserede kilder. De kontinuert bevægelige kilder blev optaget i form af gang mellem de fire anslagspositioner. Gangmønsteret er derfor principielt en firkant, men for at undgå skarpe drejninger i gangen, blev dette foretaget med buede sider af firkanten.

Inden forsøgene blev der testet flere lydkilder, som typisk vil forekomme i en bolig, f.eks. tab af fjernbetjening, bestik eller telefon. Grundet formen af disse ting ville anslagene blive meget forskellige, afhængigt af hvordan disse rammer gulvet, og disse kilder blev derfor ikke optaget.

Ved lydoptagelser i lejlighed 1, blev der optaget gang med både almindeligt tempo, 100 trin pr minut (bpm = beats per minute) og 120 bpm (hurtigt tempo). Ved at lytte på signalerne efterfølgende, blev det konstateret, at tempo 120 bpm skabte for uregelmæssige trinanslag, idet nogle trin blev foretaget med foden kantet en smule, hvorved lyden af trinnet blev væsentligt anderledes.

Efter optagelser i lejlighed 1 blev det konstateret, at signalerne fra den standardiserede gummibold er atypisk kraftige og lavfrekvente, hvorfor der i lejlighed 2 blev suppleret med en fodbold. Denne lyd blev ved umiddelbar lytning vurderet til at være mere typisk i styrke. Dog blev den kun optaget i lejlighed 2, hvorfor den ikke blev anvendt til lyttetesten. Ved fremtidige forsøg anbefales det, at det undersøges, om f.eks. en basketball vil have bedre overensstemmelse med fx typiske trinlyde som gang.

Til forsøgene blev der optaget følgende lydstimuli som angivet i Tabel 10.

Tabel 10. Optagne trinlyde; Type, lydstimuli, beskrivelse og gulvtyper. Se også tekstforklaring ovenfor.

Type	Lydstimuli	Beskrivelse	Lydoptagelse for gulvtype 1	Lydoptagelse for gulvtype 2
Standardiseret	Bankemaskine	Bankemaskine beskrevet i ISO 16283-2 [18]	X	X
Standardiseret	Standardiseret gummibold	2,6 kg massiv gummibold (der opfylder ISO 16283-2 [18]), som slippes fra 1 m højde	X	X
Stationær	LEGO	0,5 kg LEGO klodser (blandede 2x2 til 2x8 knopper), som hældes ud af en kasse 0,5 m over gulvet.	X	X
Stationær	DUPLO	1 kg DUPLO klodser (blandede 2x2 til 2x8 knopper) som hældes ud af en kasse 0,5 m over gulvet.	X	X
Stationær	Fodbold	Fodbold (som overholder kravene til "IMS International Matchball Standard" i str. 5, pumpet til 0,8 bar), som slippes fra 1 m højde.		X
Bevægelig kilde	Gang – Barfodet	30 sekunders gang i tempo 100 bpm med bare fødder	X	X
Bevægelig kilde	Gang – Bløde sko	30 sekunders gang i tempo 100 bpm med nye Converse All Star sko	X	X
Bevægelig kilde	Gang – Hårde sko	30 sekunders gang i tempo 100 bpm med sko med hårde såler.	X	X

Ved lydoptagelser af hhv. LEGO og DUPLO, blev anslaget optaget med start når klodserne blev hældt ud fra kassen. Efter at alle klodser var faldet til jorden og anslagene var stoppet, holdt forsøgspersonerne ca. 5 sekunders pause før klodserne blev samlet sammen. Der blev ligeledes lyttet på lyden fra oprydningen af disse lyde, idet disse vil være typiske for leg med LEGO eller DUPLO klodser. Lydene var dog for afhængige af, hvordan og hvor hurtigt oprydningen foregik, hvorfor disse ikke blev en del af lyttetesten. Ved fremtidige forsøg anbefales det, at der ses på om klodserne kan flyttes henover gulvet på en måde som kan gøre lydene mere reproducerbare, hvilket er vigtigt, når man ved lytte-

test skal foretage en sammenligning af forskellige konstruktioner. Hvis man derimod kun ønsker en indikation af stimuli til demoformål for en bestemt konstruktion eller bygningstype, er reproducerbarheden ikke væsentlig.

### 5.3.1 Lydkilder til stimuli

Lydkilderne anvendt til optagelse af lydstimuli kan ses på Figur 7 til Figur 11.

Ved spredning af LEGO og DUPLO blev klodserne hældt ud manuelt af en testperson. Klodserne var placeret i en plastickasse, men en snor markerede højden 0,5 m over gulv. Hastigheden hvormed klodserne hældes ud, har indflydelse på lydsignalet, hvorfor det anbefales at bruge en anordning til at hælde dem ensartet ud, fx som beskrevet i lyttetestmetoden for nabostøj [11]. Lydoptagelserne af LEGO viste sig ved efterfølgende aflytning af signalerne ikke at være tilstrækkeligt tydelige for gulvkonstruktion 2 og 3, hvorfor LEGO ikke indgår som en del af lydstimuli i de gennemførte lyttetest.

Signalerne til gang blev udført af en testperson på ca. 180 cm, 75 kg og skostørrelse 42. Hastigheden blev styret ved at testpersonen havde et metronomsignal afspillet i høretelefoner, inden og imens optagelserne af gang blev optaget.



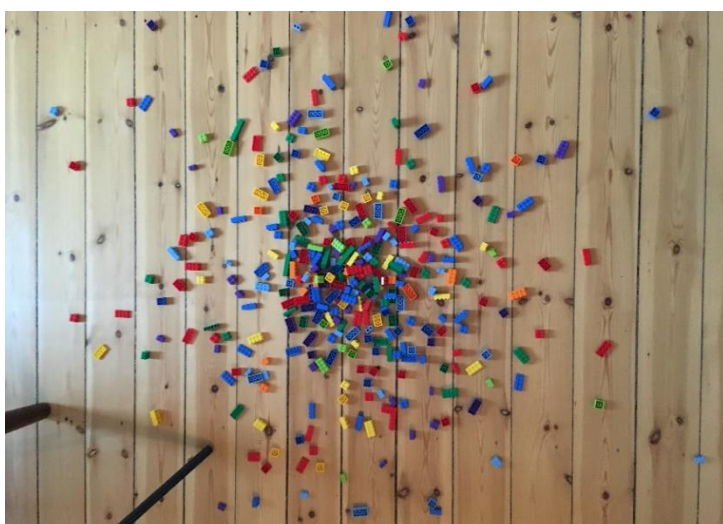
Figur 7. Bankemaskine, der opfylder [18] og [23].



Figur 8. Venstre: Standardiseret gummibold (opfylder [18] og [23]). Højre: Fodbold, se Tabel 10. Stimuli fra fodbold ikke med i lyttetest.



Figur 9. DUPLO-klodser tabt fra højde 0,5 m.



Figur 10. LEGO-klodser tabt fra højde 0,5 m. Ikke brugt til lyttetest.



Figur 11. Venstre: Bløde sko (Converse All Star); Højre: Sko med hårde såler.



## 5.4 Feltoptagelser lydstimuli ventilationsstøj

Feltoptagelser af lydstimuli blev udført i to etaper. Ved første etape var fokus at skaffe adgang til boliger og måle typisk ventilationsstøj i lejligheder. Dette er beskrevet i afsnit 5.2. Optagelserne blev ligesom optagelser af trinlyd lydstimuli, afsnit 5.3, foretaget med målemikrofon, HATS (Head and Torso Simulator) og Soundfield mikrofon. Lydoptagelserne er udført i februar 2019.

Ved disse optagelser var støjen i lejlighederne umiddelbart vurderet bestående af intern støj i bygningerne, udefrakommende trafikstøj og ventilationsstøj.

I en af fire lejligheder blev støjen opfattet som domineret af ventilationsstøj.

Dette var lejligheden med det højest målte ventilationsstøjniveau 35 dB. Denne lejlighed var den højest beliggende af de fire målte lejligheder og er derfor tættest på ventilationsenheden. Beboeren i denne lejlighed bemærkede, at det er muligt at høre ventilationen, men supplerede med bemærkningen "så virker den nok også som den skal".

I forbindelse med optagelserne i en anden af lejlighederne havde beboerne fjernet tape, som normalt var placeret for at blokere for ventilationen i stuen. Dette var efter beboerens udsagn udført grundet træk fra ventilationen, og ikke som udgangspunkt grundet støjgener.

Efter at have udført optagelser i lejlighederne, blev der lyttet på perioder med svagest mulig baggrundsstøj fra trafik og andre aktiviteter i bygningen. Det var dog tydeligt, at der ved alle optagelser kunne høres baggrundsstøj der blev vurderet til ikke at stamme fra ventilation. Det blev derfor erfaret, at selvom ventilationsstøj kan måles iht. ISO 16032 ned til 4 dB over baggrundsstøjniveauet, skal der ved lydoptagelser til lyttetest af ventilationsstøj, som i karakteristik minder meget om anden baggrundsstøj, være et betydeligt bedre signal-støjforhold. Det synes derfor ikke realistisk at foretage lydoptagelser i boliger til brug for lytteforsøg på ventilationsstøj uden særlige foranstaltninger, der kan sikre de rette målebetingelser.

Til nærværende formål blev der derfor i stedet udført lydoptagelser af ventilationsstøj i et erhvervsbyggeri, hvor det var muligt at gennemføre lydoptagelser ved forskellig indstilling af ventilationen. Optagelserne blev udført med målemikrofoner og HATS. Optagelserne blev udført med et baggrundsstøjniveau på ca. 27 dB(A), mens niveauer med tændt ventilation i forskellige indstillinger var 42-51 dB(A), afhængigt af indstillingen. Det betød at signal-støj forholdet var bedre end 15 dB. Ved lyttetesten blev niveauerne af ventilationsstøjen dæmpet til 25, 30 og 35 dB, hvilket betød at baggrundsstøjen tilsvarende blev dæmpet til under 7 dB(A). Der blev optaget ventilationsstøj med forskellige karakteristika, og til lyttetesten blev der som beskrevet i afsnit 6.2.2, anvendt optagelser med følgende karakteristika:

- Type 1: Lyden er hvislende med en svag rørlyd
- Type 2: Lyden er hovedsagelig hvislende
- Type 3: Lyden har en tydelig rørlyd og er svagt hvislende.

Ved fremtidige optagelser af ventilationsstøj vil det være essentielt at undersøge, om det er muligt at foretage optagelser med tilstrækkeligt signal-støjforhold mellem ventilationsstøjen og øvrig støj. Og det er vigtigt at bemærke, om baggrundsstøjen er så stationær, at den vil kunne filtreres væk efterfølgende. Filtring af støjen vil dog kun kunne udføres, hvis det er muligt at foretage målinger, hvor ventilationen er slukket.

## 6 Udførelse af laboratorielyttetforsøg

Dette afsnit og afsnit 7 beskriver i hovedtræk de lyttetests, der er udført som en del af projektet. Forsøgene og resultaterne er beskrevet i detaljer i Technical Report "*Listening tests on neighbour noises – Airborne and impact sound*" [10].

### 6.1 Generelt om lyttetest

Lyttetest er en målemetode, hvor man bruger mennesker som måleinstrumenter. Det kan fx foregå ved, at man præsenterer lytterne (assessorerne) for et antal lyde på en systematisk og kontrolleret måde. På den måde undgår man at uvedkommende faktorer påvirker resultatet. Men beder assessorerne bedømme forskellige objektive karakteristika ved lyden, eller man spørger, hvad de synes om lyden, om den er generende o.l., dvs. subjektivt bedømte egenskaber.

Hvis man spørger om de objektive karakteristika, bruger man som regel trænede lyttere, svarende til de smagspaneler, der benyttes til bedømmelse af fødevarer. Når det er de subjektive egenskaber man efterspørger, vælger man typisk almindelige mennesker, dvs. personer der ikke er trænet i lyttetest, men som er repræsentative for den problemstilling, der ønskes belyst, fx folk der bor i lejligheder, når det drejer sig om nabostøj. Til lyttetesten i det foreliggende projekt er der anvendt trænede lyttere, se [10].

Ved en lyttetest får man information om, hvordan lyden opfattes og opleves, dvs. viden om lyden, som ikke fremgår af den målte eller beregnede lydisolations.

Testen foregår typisk i et lytterum, hvor der ikke er andre forstyrrende lyde, og hvor man har fuldstændig kontrol over lyd kvalitet og lyd styrke.

Lyttetest er et "værktøj", der supplerer tekniske målinger på den ene side og interviews og spørgeskemaundersøgelser i felten på den anden side. Man skal dog gøre sig klart, at måling af fx genevirkning i en laboratorietestsituation kan adskille sig fra genevirkningen, der måles ved interviewundersøgelser i felten. Det skyldes, at genevirkningen afhænger af andet end selve lydens karakter og styrke. Genen afhænger også af den sammenhæng (eller kontekst) lyden optræder i, dvs. tidspunkt på døgnet, hyppighed, forholdet til naboerne og tilfredsheden med boligen o.l. samt hvor støjfuld personen er over for den pågældende støjtype. Disse forhold kommer ikke nødvendigvis i spil i en lyttetest. Man kan dog bede assessorerne forestille sig bestemte situationer og vise billeder af dem. Når man måler støjens genevirkning i en lyttetest, kaldes det for en måling af lydens genepotentiale.

Fordelen ved en lyttetest er, at man – alt andet lige – kan måle forskellene på hvor generende nabostøj er, når den fx høres gennem forskellige vægge eller etageadskillelser, på en reproducerbar og systematisk måde.

## 6.2 Metode/procedure

### 6.2.1 Formålene med lyttetesten

I tidligere projekter, bl.a. [4] med tilhørende feltmålerapporter [44], [45], [46] og [47] er der gjort erfaringer med sammenhæng med bygningskonstruktioner og målt/beregnet lydisolation. Formålet med de lyttetests, der er udført i nærværende projekt, er at udbygge denne viden med sammenhængen med den opfattede gene og accept af støjen.

Under FORCE's resultatkontrakt "Lyds virkning på helbred og velvære" [2] blev der udviklet et oplæg til metode for lyttetest af genevirkning. I nærværende projekt er denne målemetode blevet testet og videreudviklet, se [11]. Som en del af dette er følgende spørgsmål belyst:

- Hvilken metrik, det ækvivalente konstante niveau  $L_{Aeq}$  eller det maksimale niveau  $L_{pAmaxF}$ , giver den bedste sammenhæng med den potentielle genevirkning?
- Afhænger den subjektive respons af reproduktionsteknikken? (hovedtelefoner, stereo eller surround sound).
- Hvilke trinlydkilder giver den bedste sammenhæng med opfattelsen af naturlige trin på gulvet i den øvre lejlighed?
- Kan man simulere lyden gennem andre etageadskillelser?
- Hvad er det acceptable niveau for ventilationsstøj?
- Er forskellige slags støj lige generende?
- I hvilken grad stemmer de subjektive resultater overens med bygningsakustiske målinger?
- Er resultaterne stabile fra test til test?

### 6.2.2 Stimuli til lyttetesten

I lyttetesten blev benyttet fire forskellige slags stimuli:

- Nabostøj (luftlyd) gennem vægge
- Trafikstøj indendørs
- Ventilationsstøj
- Nabostøj (trinlyde, bold, Duploklodser) hørt gennem etageadskillelse

En samlet oversigt over stimuli anvendt til lyttetesten findes i [10], tabel 8, og 1/3 oktav spektre for alle stimuli findes i [10], Appendix 3.

#### *Nabostøj gennem vægge*

Nabostøjen gennem vægge stammede fra et tidligere projekt, [7] og [8]. Her blev lyde fra toiletskyl (Flush), musik (Music), fest (Party) og stemmer (Voices) simuleret gennem seks forskellige vægge. De engelske ord i parenteser optræder på graferne i de følgende afsnit. De simulerede vægge fremgår af Tabel 11. Reduktionstalskurverne (ned til 50 Hz) findes i [10], figur 1, og 1/3 oktav spektre for stimuli i [10], Appendix 3. Kombinationen af en lyd og en væg benævnes fx Flush 1, for væg nr. 1 osv. Lydeksemplerne havde en varighed på 20 sekunder.

Tabel 11. Oversigt vægge simuleret i lyttetesten og deres vægtede lydreduktionsstal ( $R'_w$ ).

Væg nr.	Type	Detaljer	$R'_w$
1	Enkeltvæg af beton	200 mm beton 2400 kg/m <sup>3</sup>	56 dB
2	Enkeltvæg af letbeton	260 mm letbeton 1400 kg/m <sup>3</sup>	50 dB
3	Mursten, 1/2-stens væg	115 mm muret væg, 1200 kg/m <sup>3</sup> , puds 2 x 10 mm	41 dB
4	Enkeltvæg af gips	2 x 1 lag gipsplade, fælles skelet, 45 mm mineraluld	40 dB
5	Dobbelt gipspladevæg	2 x 3 lag gipsplade, dobbelt skelet, 190 mm mineraluld	57 dB
6	Dobbelt betonavæg	2 x 80 mm beton, 2400 kg/m <sup>3</sup> , 60 mm mellemrum, 50 mm mineraluld	63 dB

Hvis de valgte lydeksempler blev afspillet ved deres naturlige niveau, ville det være vanskeligt at skelne mellem visse af vægtyperne, og for væggene med den højeste dæmpning ville nogle af lydene være stort set umulige at høre. Derfor blev to alternative strategier overvejet:

1. Afspilning ved naturligt niveau  
Der kan opnås realistiske bedømmelser af lydenes genepotentiale, men de svageste lydeksempler ville være uhørlige på modtagesiden af de bedste vægge.
2. Afspilning ved forhøjede niveau  
Vi får urealistisk store genepotentiale, men en bedre diskrimination blandt alle seks vægge.

Den sidste mulighed blev valgt med en oprindelig tilsigtet niveauforøgelse på 10 dB. I det tidligere COST Action TU0901 projekt blev det estimeret, at niveauerne svarede til at lydeksemplerne på sendesiden i gennemsnit var 14 dB højere end det naturlige niveau. Denne niveauforøgelse blev også anvendt i den nuværende test af hensyn til sammenligneligheden, skønt en niveauforøgelse på 10 dB ville have været opfattet som mere naturlig.

#### *Trafikstøj indendørs*

Trafikstøjen bestod af en konstant støj (Lyserød støj) med samme lydspektrum, som den støj, der blev målt indendørs i en af lejlighederne under optagelsen af trinlyd. Støjen er nærmere beskrevet i [11]. Trafikstøjen blev afspillet ved de omtrentlige niveauer på 25, 35 og 45 dB(A) og tjente som en slags reference-lyde (de nøjagtige niveauer er målt og angivet i [10]). På graferne benævnes de Traffic 25, Traffic 35 og Traffic 45. Lydeksemplerne havde en varighed på 15 sekunder.

#### *Ventilationsstøj*

Tre forskellige typer ventilationsstøj blev brugt i lyttetesten:

- Type 1: Lyden er hvislende med en svag rørlyd
- Type 2: Lyden er hovedsagelig hvislende
- Type 3: Lyden har en tydelig rørlyd og er svagt hvislende

Ventilationsstøjen blev afspillet ved de omtrentlige niveauer på 25, 30 og 35 dB(A) og benævnes Vent 1 25 osv. (de nøjagtige niveauer er målt og angivet i [10]). Lydeksemplerne havde en varighed på 15 sekunder.



### *Trinlyde, bold, Duploklodser hørt gennem etageadskillelse*

Feltmålinger og lydoptagelser af de anvendte trinlydkilder er beskrevet i afsnit 5, hvor der også findes detaljerede beskrivelser med fotos af trinlydkilderne.

I Tabel 12 findes en oversigt over trinlydkilder, der blev anvendt til lyttetesten.

Tabel 12. Trinlydkilder anvendt til lyttetest. Kilder i senderum, lydoptagelser i modtagerum. En nærmere beskrivelse findes i afsnit 5.3.

Stimulus navn	Beskrivelse
Walk S	Gang med sko med bløde såler
Walk B	Gang med bare fødder
Walk H	Gang med sko med hårde såler
Duplo	1 kg DUPLO klodser (blandede 2x2 til 2x8 knopper) som hældes ud af en kasse 0,5 m over gulvet, på en "standardiseret" måde, se [11].
Ball	Denne bold er en speciel 2,6 kg massiv gummibold (der opfylder ISO 16283-2 [18]), som slippes fra 1 m højde. Bolden får lov at hoppe indtil den ligger stille. Lyden fra bolden blev dæmpet 10 dB for bedre at svare til en almindelig bold eller et hoppende barn.
Tap	En bankemaskine Brüel & Kjær type 3207. Lyden blev dæmpet 10 dB for ikke at være væsentlig kraftigere end de øvrige lyde.

Trinlyden var optaget under forskellige etageadskillelser, se Tabel 13.

Lydstimuli havde en varighed på 15 sekunder.

Tabel 13. Beskrivelse af de gulvtyper der er brugt til optagelser og simuleringer. En nærmere beskrivelse findes i afsnit 5.3.

Gulv nr.	Beskrivelse af etageadskillelse
1	Trægulv på træbjælker
2	Trægulv på beton støbt på stedet
2a	Trægulv på beton støbt på stedet simuleret ud fra gulv 1
3	Trægulv på betonhuldæk simuleret ud fra gulv 2

Note: Når en trinlydkilde er kombineret med gulv 1 benævnes den med fx Ball 1 osv.

### **6.2.3 Udførelse af lyttetesten**

Lyttetesten blev udført i september-oktober 2019 i FORCE's lytterum, se Figur 12, som overholder standarden ITU-R BS.1116-3 [49] mht. kvaliteten af højttalere og rummets baggrundsstøj og efterklangstid.

Lydene blev afspillet dels over hovedtelefoner, dels i to-kanals stereo og dels i 26-kanalers surround-sound.



Figur 12. Person i FORCE's lytterum med højttalere i en 26-kanalers surround-opstilling.

Personer, der deltager i en lyttetest ved at lytte, bedømme og afgive deres bedømmelser, kaldes assessorer. Tretten personer (11 mænd og 2 kvinder, alder mellem 25 og 59 år med en gennemsnitsalder på 37 år) bedømte genevirkningen af stimuli. For ventilationsstøjen blev også bedømt "Accept". Assessorerne, på nær en, var personer, der selv boede i etageboliger. Assessorerne var trænnede lyttere, se [10], afsnit 5.

Assessorerne fik bl.a. følgende instruktion før testen:

*"Du skal forestille dig, at du sidder og slapper af hjemme i lejligheden, mens disse lyde forekommer.*

*For nabostøjen (musik, stemmer, toiletskyl, trin, bold, Legoklodser og bankemaskine m.m.) skal du forestille dig, at den forekommer ca. hvert tiende minut med samme varighed som i testen.*

*Trafikstøjen er repræsentativ for støjen en hel aften.*

*For ventilationsstøjen skal du forestille dig, at den forekommer i døgn drift (også i soveværelset), uden at du har mulighed for at regulere den."*

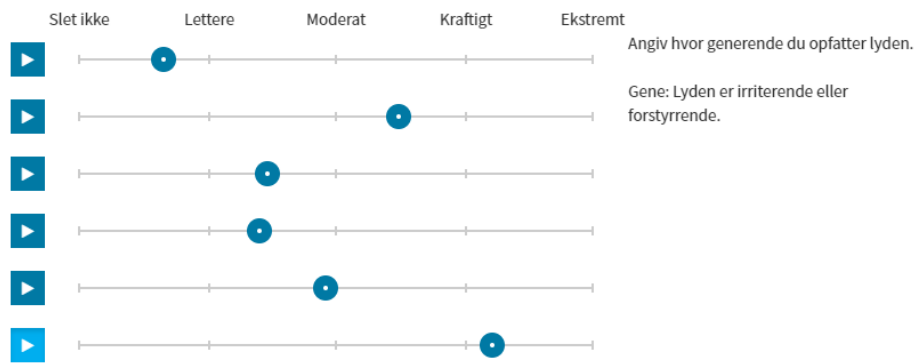
Note: Ovenstående tekst blev udleveret til assessorerne før deltagelsen i lyttetest. Betegnelsen "Legoklodser" blev brugt, selv om de faktiske stimuli var fra Duplo-klodser, jf. beskrivelsen i Tabel 10. og i Tabel 12.

For at gøre det lettere for assessorerne at forestille sig et hjemmemiljø, blev der vist et billede af en stue på lærredet i lytterummet, se Figur 12.

For hver af de lyde, assessorerne præsenteres for, gav de en bedømmelse af genevirkningen, på en brugerflade, som vist på Figur 13. De labels, der er anført på svarskalaen for forskellige genegrader, er i overensstemmelse med ISO/TS 15666 [33] efter en systematisk dansk oversættelse, se [50] og [51].

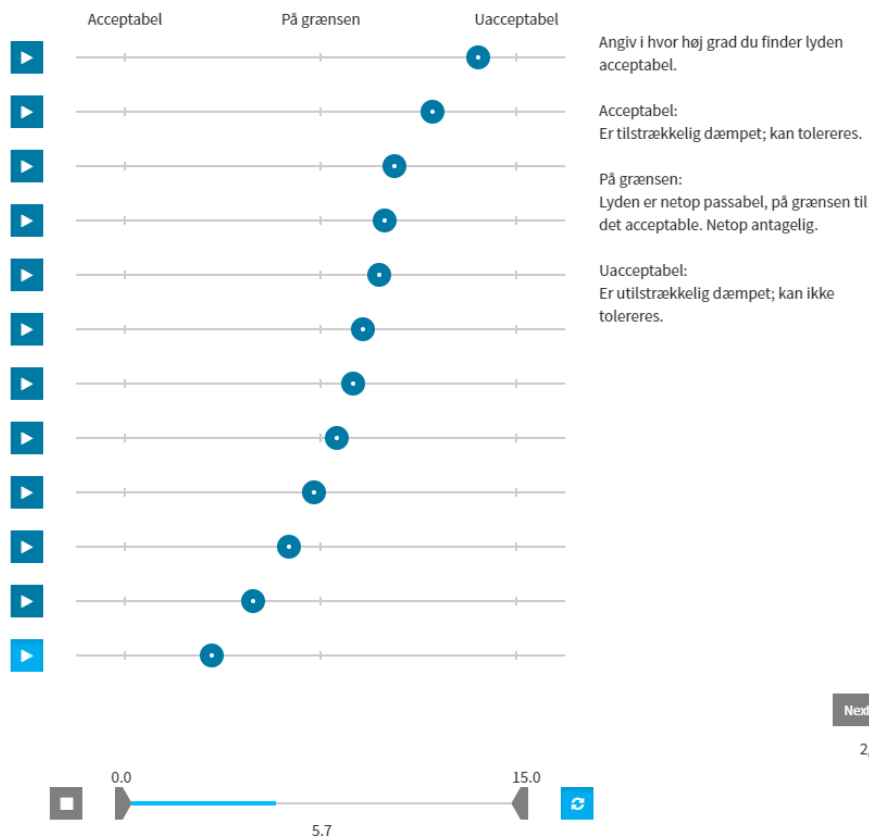
Bedømmelsen af accept af ventilationsstøjen blev afgivet på en brugerflade som vist på Figur 14.

## Gene



Figur 13. Skalaer til afgivelse af bedømmelser for gene. Ved at trykke på pileknapperne til venstre kan lytteren høre de forskellige lyde og derefter afgive sin bedømmelse på skalaen til højre. Bedømmelserne bliver automatisk opmålt på en 0-150 skala, som ikke er synlig for lytteren.

## Accept



Figur 14. Brugerfladen for bedømmelse af accept af ventilationsstøj. Figuren viser også en særlig feature ved brugerfladen: Lytteren kan når som helst bede systemet om at sortere stimuli i henhold til de afgivne bedømmelser. Det gør det lettere at rangordne og finjustere de individuelle bedømmelser. Bedømmelserne bliver automatisk opmålt på en 0-150 skala, som ikke er synlig for lytteren.

Efter lyttetesten blev der foretaget et kort debriefings-interview med hver assessor. De detaljerede svar fremgår af [10]. Hovedindtrykket var, at lydene var repræsentative. Der var dog også forslag til lyde, som kunne tilføjes:

- Gør-det-selv aktiviteter
- Grædende baby, skrigende børn
- Bankelyde på radiatorer
- Naboer der skændes (høj tale)
- Snorken
- Mænd, der tisser i vandet i toilettet
- Lyde fra hunde (hylende, bjæffende)
- Smækkende døre
- Musikinstrumenter
- Køkken- og vaskemaskiner

Dette stemmer godt overens med lydene i Tabel 7 i afsnit 3.

På spørgsmålet om lydene var mest realistiske på hovedtelefoner eller højttalere var der 9-10 stemmer ud af 13, for højttalere, 1 for hovedtelefoner og 1 person mente, at de var ens, afhængigt af lyden. Hvilken indflydelse det reelt har på bedømmelserne, kan ses i Appendiks C, der indeholder en sammenfatning af analyseresultater fra lytteforsøgene.

### 6.3 Fysiske målinger på stimuli

I forbindelse med lytteforsøgene blev lydtrykniveauer af alle stimuli målt. Målingerne af niveauer i hovedtelefonerne blev foretaget med et kunsthoved, Brüel & Kjær Head and Torso Simulator (HATS) type 4100. Niveauerne af lyd gengivelsen med stereo og surround-højttalere blev foretaget med en målemikrofon placeret i lyttepositionen. Måleresultaterne fremgår af [10].

## 7 Hovedresultater lyttetest for luftlyd, trinlyd, trafik og ventilationsstøj

I nærværende afsnit gives et kort overblik over nogle hovedresultater, som er væsentlige for anvendelse af lyttetestmetoden.

En detaljeret rapport over de gennemførte lytteforsøg, databehandling og resultaterne findes i [10]. En sammenfatning af de vigtigste analyseresultater er givet i Appendiks C, hvor der også findes en række vigtige forsknings- og anvendelsesspørgsmål samt svar. Disse svar, som er udledt af lyttetestens resultater, har haft betydning for en opdatering af lyttetestmetoden [11], og udgør et direkte grundlag for metodens appendikser om nabostøj, inkl. trinlyd.

### 7.1 Generelle resultater

Man kan angive støj og støjens styrke på mange forskellige måder. Et af lyttetestens overordnede resultater var, at det gennemsnitlige lydtrykniveau ( $L_{Aeq}$ ) var det mål, der bedst beskriver de oplevede genevirkninger.

Når lyttetest skal udføres, kan det vælges, om det skal ske over hovedtelefoner, to-kanals stereohøjttalere eller multikanals surroundlyd. Forsøgsteknisk viste det sig, at det var nemmest at reproducere lyden ved de påtænkte niveauer, hvis man bruger hovedtelefoner. Lytterne fandt det mest naturligt at lytte på højttalere, men det syntes ikke at have haft indflydelse på deres bedømmelser af genevirkningen. Dog skulle lyden i hovedtelefonerne være en smule kraftigere (ca. 3 dB) for at give samme gene, som når lyden blev præsenteret over stereohøjttalere.

Lyttetesten viste også, at resultaterne afhænger lidt af hvilke lyde, der er med i den konkrete test. Således blev trafikstøj bedømt som mere generende, hvis den blev præsenteret sammen med svage ventilationslyde end når den samme trafikstøj blev præsenteret sammen med kraftigere lyde af nabostøj. Konklusionen af dette er, at testresultaterne er relative, og at man med fordel kan inddrage de samme referencelyde fra test til test for at stabilisere resultaterne. Derfor er der, som en del af resultatet, specificeret lyde (simplificeret baggrundsstøj og simplificeret indendørs støj fra trafik) som kan bruges som referencelyde.

### 7.2 Resultater for lyttetest trinlyd gennem etagedæk

Det viste sig, at naturlige fodtrin fra personer, der går hen over et gulv, er uegnede til lyttetestformål, dels fordi lyden hos underboen er svag og dels fordi styrken af trinnene varierer fra gang til gang. Resultaterne viste imidlertid også, at de andre trinlydkilder, der blev brugt, gav samme relative bedømmelser af de forskellige etageadskillelser, som trinlyd. Det betyder, at man kan vælge de andre mere reproducerbare og kraftigere kilder og få samme relative bedømmelser.

Resultaterne indikerede også, at det er muligt at simulere lyden fra en ny eller ændret etageadskillelse med samme resultat som optagelser foretaget under en "rigtig" etageadskillelse af samme slags. Dette er dog kun undersøgt for en enkelt type etageadskillelse, og selv om det er konsistent for forskellige trinlydkilder, skal resultaterne tages med væsentlige forbehold.

Det viste sig, at for de testede etageadskillelser er det bygningsakustiske begreb for trinlydniveauet  $L'_{n,w}$ , der benyttes i Danmark til trinlydkrav, dvs. inkluderer frekvenser ned til 100 Hz, se afsnit 2.1, en god indikator for genen. Men med en ydeevne defineret ved en talværdi fås ikke konkrete informationer om den oplevede gene fra overboens aktiviteter under forskellige typer af etagedæk. Her giver lyttetesten supplerende informationer, idet den direkte måler, hvor generende forskellige aktiviteter er, alt efter hvilken type etageadskillelse, der er tale om.

Ved kommende lyttetest er det vigtigt at inkludere andre typer etageadskillelser, feltmålinger ned til 50 Hz og at analysere lyttetestresultaterne tilsvarende.

### 7.3 Resultater for lyttetest luftlyd gennem vægge

Ud fra lyttetesten kan man konkludere, at for vægge med reduktionstal  $R'_w$  omkring 40 dB, dvs. en ½-stens muret væg eller en enkel gipspladevæg, vil nabostøjen i gennemsnit opleves som "Moderat generende". For vægge med et reduktionstal på omkring 50 dB, dvs. fx 260 mm letbeton, vil nabostøjen opleves som mellem "Moderat Generet" og "Lettere generet". Endelig vil vægge med reduktionstal omkring 60 dB, fx 200 mm enkelt betonavæg eller en 2 x 80 mm betonavæg, medføre at nabostøjen opleves som "Lettere generende" eller mindre.

### 7.4 Resultater lyttetest ventilationsstøj

Resultaterne fra lyttetesten indikerer, at grænsen for det acceptable niveau af ventilationsstøj i boliger er 26 dB(A), hvilket er noget lavere end bygningsreglementets grænse for ventilationsstøj i beboelsesrum på 30 dB(A). Grænsen for det acceptable ligger på det, der kan betegnes "Moderat generende".

Lyttetesten viste også, at ventilationsstøj blev opfattet som mere generende end nabostøj ved samme niveauer ( $L_{Aeq}$ ).

### 7.5 Konklusioner lyttetest

Alt i alt må det konkluderes, at det er muligt at udføre lyttetest af genevirkningen af støj fra naboer og tekniske installationer, som kan give relative bedømmelser af de genevirkninger støjen giver anledning til. Lyttetest giver et godt supplement til de bygningsakustiske feltmålinger, idet den kan kvantificere genevirkningen af forskellige aktiviteter og graden af accept. Det antages derfor, at lyttetesten giver resultater, der i højere grad kan sammenlignes med beboernes oplevelse af lyd-miljøet end de bygningsakustiske målinger alene. Endvidere giver korrekt udførte lyttetests objektive måleresultater, der ikke er knyttet til en bestemt bebyggelse eller specifikke naboer og derfor kan betragtes som neutrale. De benyttede lyd-stimuli vil også kunne bruges som demoeksempler, der repræsenterer en specifik bygningstype og dermed være nyttige i en diskussion om lydreovering.

## 8 Demoeksempler lydstimuli: Luftlyd, trinlyd og ventilationsstøj

Det var et af projektets formål at gøre det muligt for en bredere kreds at høre hvordan nabostøj, dvs. forskellige slags trinlyd og luftlyd, lyder gennem forskellige vægge og etageadskillelser. Da det også var en del af lyttetestens formål at teste dette, er lyttetestens stimuli valgt således, at de er repræsentative for begge anvendelser. Det er derfor oplagt også at bruge lyttetestens stimuli som demonstrationseksempler. Det giver samtidigt mulighed for at kunne høre de stimuli, som resultaterne af lyttetesten bygger på. De valgte stimuli er beskrevet i afsnittene 5 og 6, og konkrete måleresultater for stimuli kan findes i lyttesterapporten [10].

Udvalgte lydstimuli kan høres på Aalborg Universitets hjemmeside:

<https://www.nabostoej.aau.dk/>

### 8.1 De valgte lydeksempler til demonstration af nabostøj mv.

Lydene er beregnet til aflytning på gode hovedtelefoner, som klart giver det mest overbevisende lydindtryk, men kan i mangel af sådanne afspilles på mindre gode hovedtelefoner. For at lydene høres med den tiltænkte lydstyrke, skal styrken indstilles, så talen har samme styrke, som en person der taler i en meters afstand. Denne indstilles ved en "kalibrering" som forklaret på hjemmesiden.

Mange af lydene er fra naboers forskellige aktiviteter i boliger. Lydene er gengivet, som de høres i etageboliger med forskellige boligadskillende vægge og etageadskillelser mod naboerne.

Nogle af lydeksemplerne er meget svage og kan kun høres i stille omgivelser. Hvis man vil høre lydene i samme styrke som tiltænkt (og som i lyttetesten) skal lydstyrken under afspilningen justeres, som beskrevet for kalibrering ovenfor.

#### Trinlyd

Der er medtaget følgende lyde:

- Trin med sko med hårde og bløde såler (naturligt niveau).
- Trin på bare fødder (naturligt niveau).
- Duplo-klodser, der væltes ud på gulvet (naturligt niveau).
- En bold der hopper. Bolden er en 2,6 kg tung massiv gummikugle, som slippes fra 1 m højde. Lyden er dæmpet 10 dB eller subjektivt til ca. det halve for bedre at svare til lyden af en almindelig bold eller et barn, der hopper.

Man kan høre lydene gennem følgende etageadskillelser:

1. Trægulv på træbjælkelag
2. Trægulv på betondæk støbt på stedet
3. Trægulv på hulbetondæk (simuleret)

### **Indendørs trafikstøj**

Lyden af trafik som den høres indendørs ved forskellige lydstyrker. Lydstyrkerne er angivet ved lydtrykniveauerne i dB(A), og trafikstøjen har tre niveauer: 25, 35 og 45 dB(A).

### **Ventilationsstøj**

Der er lyde fra tre forskellige ventilationsanlæg:

- Type 1: Lyden er hvislende med en svag rørlyd
- Type 2: Lyden er hovedsagelig hvislende
- Type 3: Lyden har en tydelig rørlyd og er svagt hvislende

Lydene er gengivet med forskellige styrker: Lydtrykniveauer på 25, 30 og 35 dB(A).

### **Nabostøj gennem vægge (luftlyd)**

Lydene i denne demonstration svarer til naturligt niveau. I lyttetesten var lydstyrken ca. 14 dB kraftigere eller subjektivt opfattet ca. tre gange så kraftigt som naturligt niveau, så man lettere kunne høre forskel på væggene.

Der er følgende lyde:

- Stemmer
- Toiletskyl
- Fest (musik og stemmer)
- Høj musik

Lydene kan høres transmitteret gennem følgende vægtyper, se også Tabel 11 i afsnit 6.2.2:

4. 200 mm beton
5. 260 mm letbeton
6. Mursten, ½-stensvæg
7. Gipspladevæg, enkeltvæg
8. Dobbelt gipspladevæg
9. Dobbelt betonvæg

## **8.2 Muligheder videreudvikling af demoeksempler og perspektiver til projektering**

Lyttetesten har demonstreret, at det er muligt på realistisk vis at afspille både optagelser af nabostøj og nabostøj gennem simulerede bygningskonstruktioner på en måde, der opfattes realistisk af lytterne, og som gør det muligt at bedømme den potentielle genevirkning og accept af forskellige lyde. Det giver mulighed for, at værktøjet kan videreudvikles, så det bliver muligt at simulere lydene gennem alle bygningskonstruktioner, som der er målte eller beregnede data for. Dvs. at det er muligt at høre og sammenligne, hvordan påtænkte forbedringer lyder i et før og efterscenarie i forbindelse med renovering, ligesom det vil være muligt at sammenligne virkningen af alternative konstruktioner ved nybyggeri.

Fremover er lydene ikke begrænset til de lyde, der blev brugt i dette projekt. I videreudviklingen kan der inddrages supplerende lyde, fx de lyde der i forskellige undersøgelser har vist sig at give anledning til gener, se afsnit 3, eller lyde som assessorerne i dette projekt har nævnt som mulige supplerende lyde, se afsnit 6.



## 9 Konklusioner og forslag til videreudvikling af lyttetestmetode og lydstimuli

Herunder er angivet dels nogle konklusioner vedrørende lyttetestmetoden, dels nogle forslag til videreudvikling af lydstimuli.

### 9.1 Lyttetestmetoden og forslag til videreudvikling

Det overordnede formål var at beskrive og afprøve en metode til udførelse af lyttetest, som direkte relaterer sig til den oplevede støj i boligen. Der blev udført en række målinger, lydoptagelser og simuleringer af typiske nabostøjkilder (bl.a. trinlyd) og ventilationsstøj i forskellige ejendomme. Desuden indgik der i lyttetesten forskellige lydstimuli med bl.a. trafikstøj, musik, stemmer og toiletskyl fra tidligere lyttetest hos FORCE.

Ud fra erfaringerne kan det konkluderes, at det er muligt at udføre lyttetest af genevirkningen af støj fra naboer og tekniske installationer, som kan give relative bedømmelser af de genevirkninger, støjen giver anledning til. Lyttetest giver et godt supplement til de bygningsakustiske målinger, idet den kan kvantificere genevirkningen af forskellige aktiviteter og graden af accept. Det antages derfor, at lyttetesten giver resultater, der i højere grad kan sammenlignes med beboernes oplevelse af lydmiljøet end de bygningsakustiske målinger alene. Som et specifikt resultat blev det fundet, at assessorerne i lyttetesten angav det højest acceptable niveau af ventilationsstøj til 26 dB(A).

I forbindelse med projektet blev der fundet udfordringer ved lydoptagelser af ventilationsstøj. Her var en specifik problemstilling, at det er muligt at udføre bygningsakustiske målinger, hvor ventilationsstøjen er helt ned til 4 dB over baggrundsstøjen. Ved lydoptagelser af ventilationsstøj blev det konstateret, at signalet skal være betydeligt højere end baggrundsstøjen, således at ventilations-signalet, der lyttes på, ikke indeholder tydelig baggrundsstøj fra optagestedet. Derfor anbefales det som gjort i projektet at måle ventilationsstøj ved niveauer, der er betydelig højere end baggrundsstøjen, og efterfølgende justere den til de niveauer der forekommer i boliger. For lydoptagelser af ventilationsstøj var det endvidere en stor tidskrævende udfordring at finde relevante målesteder.

På grundlag af lyttetestens resultater er der foretaget en opdatering af lyttetestmetoden [11], bl.a. med tilføjelse af appendikser om trinlyd og anden nabostøj. Lyttetestmetoden er beskrevet med samme struktur som sædvanligvis anvendes i ISO-standarder, og det overvejes at foreslå metoden som et arbejdsemne, fx i ISO/TC 43/SC 2 Building acoustics, med henblik på at opnå en internationalt standardiseret metode for lytteforsøg og dermed få mere international erfaringsudveksling.

En væsentlig del af stimuli anvendt i lyttetesten er gjort tilgængelige på AAU BUILD's hjemmeside for nabostøj, <https://www.nabostoej.aau.dk> [52].

Lyttetesten viste, at det er muligt på realistisk vis at afspille både optagelser af nabostøj og nabostøj gennem simulerede bygningskonstruktioner på en måde, der opfattes realistisk af lytterne, og som gør det muligt at bedømme den potentielle genevirkning og accept af forskellige lyde.

Dette åbner mulighed for, at lydene kan simuleres gennem alle bygningskonstruktioner, som der er målte eller beregnede data for. Dvs. at det er muligt at høre og sammenligne, hvordan påtænkte forbedringer lyder i et før-og-efter scenarie. Ligeledes vil det være muligt at sammenligne virkningen af alternative konstruktioner ved nybyggeri.

Ved en eventuel fremtidig videreudvikling vil der således ved hjælp af auraliseringer (lydsimuleringer baseret på originale lydoptagelser) også kunne simuleres kommende konstruktioner. Auraliseringerne kan udnyttes til demonstrationer for beslutningstagere af ændringer af fx lydisolation ved renovering.

Lydene er ikke begrænset til de lyde, der blev brugt i dette projekt. Fremover vil det også være muligt at inddrage supplerende lyde, fx de lyde, der i forskellige undersøgelser har vist sig at være mest generende, se afsnit 3, eller lyde foreslået af assessorerne i dette projekt, se afsnit 6 eller listen herunder i 9.2. Det skal bemærkes, at et vigtigt element i forbindelse med at optage supplerende lyde er, at disse skal være reproducerbare, således at forsøgspersonerne ikke lytter på forskelle i f.eks. gangmønstre frem for karakteristikken af bygningsdelen.

## 9.2 Forslag videreudvikling med flere lydstimuli

I nedenstående Tabel 14 ses en række eksempler på generende/forstyrrende nabostøj. En række af disse var med i lyttetesten og er med i demoeksempler [52].

Tabel 14. Eksempler på generende/forstyrrende nabostøj.

<b>Generende/forstyrrende nabostøj</b> (fra Tabel 7 i afsnit 3)	<b>Forslag fra assessorer i lyttetest</b> (fra afsnit 6)
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Naboers fodtrin</li> <li>◆ Børn, der hopper/løber/leger</li> <li>◆ Stemmer/råb/diskussioner</li> <li>◆ Hundegøen</li> <li>◆ Radio, TV, musik</li> <li>◆ Fester</li> <li>◆ Naboers DYI (gør-det-selv)</li> <li>◆ Smækkende døre, låger, wc-brætter</li> <li>◆ Støvsugning</li> <li>◆ Stole/møbler, der flyttes</li> <li>◆ Ting, der tabes på gulvet</li> <li>◆ Telefon, vækkeur, radio, der står/ligger på gulvet</li> <li>◆ Spædbørns gråd</li> <li>◆ Diverse lyde fra brug af wc</li> <li>◆ Toiletskyl og afløb fra bad</li> <li>◆ Vaskemaskiner osv.</li> <li>◆ Tekniske installationer</li> </ul>	<p>En del forslag, som er med i listen tv. Herunder nye forslag og varianter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Skrigende børn</li> <li>◆ Bankelyde på radiatorer</li> <li>◆ Naboer der skændes (høj tale)</li> <li>◆ Snorken</li> <li>◆ Mænd, der tisser i vandet i toilettet</li> <li>◆ Lyde fra hunde (hylende, bjæffende)</li> <li>◆ Musikinstrumenter</li> <li>◆ Køkkenmaskiner</li> </ul>

Det er yderst relevant at udvide med flere lydstimuli, især dem, der tydeligvis vedrører de ca. 500.000 ældre danske etageboliger med træetageadskillelser, Type E1, se Figur 2. Formålet er at tydeliggøre vigtigheden af lydrenovering af netop disse boliger, men det er også relevant for nyere boliger af typen E2 og E3.

# Litteratur

## Referencer

I dette afsnit er anført litteratur, som der er refereret til i rapportens tekst.

- [1] SBI-projekt (2020). *"Implementering af LYDKVALITET ved renovering af etageboligbyggeri – Et pilotprojekt"*.
- [2] Force-projekt for uddannelses- og forskningsministeriet (2018). *"Lyds virkning på helbred og velvære"*.
- [3] SBI og Force (2020). *"Lyttetestmetode for bygningskonstruktioner - Ny målemetode til belysning af bygningskonstruktioners betydning for lyd karakteristika og genevirkning"*. Note: Samarbejdsprojekt 2017-2020 som udvidelse af [1] og [2].
- [4] Rasmussen, B. & Hoffmeyer, D. (2015). *Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Kortlægning og forbedringsmuligheder*. SBI Rapport 2015:27. København. Adgang til SBI-rapport og målerapporter: <https://sbi.dk/Pages/Lydisolation-mellem-boliger-i-etagebyggeri-Kortlaegning-og-forbedringsmuligheder.aspx>; [www.sbi.dk/sbi2015:27](http://www.sbi.dk/sbi2015:27)
- [5] Udesen, C. H.; Jensen, H. A. R.; Davidsen, M.; Christensen, A. I. & Ekholm, O. (2019): *Boligmiljø – Sundheds- og sygelighedsundersøgelsen 2017*. Statens Institut for Folkesundhed, SDU, 2019. <https://www.sdu.dk/da/sif/rapporter/2019/boligmiljoe>
- [6] Rasmussen, B., & Ekholm, O. (2019). *Nabostøj i danske etageboliger – Gener og potentielle helbredseffekter*. Sundhedsstyrelsen, Miljø og sundhed, December 2019, s. 3-14.
- [7] Pedersen, T.H. and Antunes, S. (2012). *SenseLabOnline listening test on sound insulation of walls - A feasibility study*. COST Action TU0901 WG 2. SenseLab 012/12, 2012.
- [8] Pedersen, T.H.; Antunes, S.; and Rasmussen, B. (2012). *Online listening tests on sound insulation of walls – A feasibility study*. Proceedings of EuroNoise 2012, Bratislava, Slovakia.
- [9] Rasmussen, Birgit & Machimbarrena, María (editors). (2014), *COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*. DiScript Preimpression, S. L. e-ISBN: 978-84-697-0158-4.
- [10] Pedersen, Torben Holm; Skov, Rasmus Stahlfest Holck; Rasmussen, Birgit. (2020). Technical Report: *Listening tests on neighbour noises – Airborne and impact sound*. FORCE Project no.: 118-23248, TC-101511.
- [11] Pedersen, T.H, Skov, R.S.H. (2020). *Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise*. FORCE Project no.: 118-20470, TC-101522.
- [12] Rasmussen, B. & Møller Petersen, C. (2014). *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (SBI-anvisning 243). SBI forlag, Aalborg Universitet København.
- [13] DS 490:2018, *Lydklassifikation af boliger*. Dansk Standard, København.
- [14] Danmarks Statistik (2019). <https://statistikbanken.dk/>
- [15] *Bygningsreglement 2018*. København, Denmark. <http://byggningsreglementet.dk> <https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/17/Krav>  
Note: Alle tidligere bygningsreglementer findes på:  
<https://historisk.byggningsreglementet.dk/tidligerebyggreg/0/40>
- [16] TBST (2020). *Bygningsreglementets vejledning om lydforhold*. <https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/17/Vejledninger>
- [17] DS/EN ISO 16283-1 (2014), *Akustik – Feltmåling af lydisolation i bygninger og af bygningselementer – Del 1: Luftlydisolation* (Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation)
- [18] DS/EN ISO 16283-2 (2018), *Akustik – Feltmåling af lydisolation i bygninger og af bygningselementer – Del 2: Trinlydisolation* (Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation)
- [19] DS/EN ISO 717-1 (2013), *Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 1: Luftlydisolation* (Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation)

- [20] DS/EN ISO 717-2 (2013), *Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 2: Trinlydniveau* (Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Impact sound insulation)
- [21] DS/EN ISO 10052 (2005), *Akustik – Måling af luftlyd- og trinlydisolation samt støj fra tekniske installationer i bygninger – Overslagsmetode* (Acoustics -- Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound -- Survey method)
- [22] Rasmussen, B., Hoffmeyer, D., & Olesen, H.S. (2017). *Udførelse af bygningsakustiske målinger* (2. udg.). (SBI-anvisning 217). Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.
- [23] DS/EN ISO 10140-5 (2010), *Akustik - Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation - Del 5: Krav til prøvningsfaciliteter og -udstyr* (Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 5: Requirements for test facilities and equipment).
- [24] Rasmussen, B. (2018). *Building acoustic regulations in Europe – Brief history and actual situation*. BNAM 2018, Reykjavik. Proceedings of the Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2018.
- [25] Rasmussen, B., Petersen, C.M. & Hoffmeyer, D. (2011). *Lydisolering mellem boliger - nybyggeri* (SBI-anvisning 237). Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- [26] Statens Institut for Folkesundhed, SDU (2020). *Sundheds- og sygelighedsundersøgelserne, spørgeskemaer*. [https://www.sdu.dk/da/sif/forskning/projekter/sundheds\\_og\\_sygelighedsundersogelserne/sporgeskema](https://www.sdu.dk/da/sif/forskning/projekter/sundheds_og_sygelighedsundersogelserne/sporgeskema)
- [27] DEFRA (2014). *National Noise Attitude Survey 2012 (NNAS2012) - Summary Report*. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), UK Government, London. More details are found in a series of Annex volumes as follows:  
Volume 1 – Method  
Volume 2 – Current Attitudes to Noise  
Volume 3 – Comparison of Key Findings Between 2012 and 2000  
Volume 4 – Comparison Between Countries  
Volume 5 – Dwelling, Sociodemographic and Geographic Factors Associated with Responses to Noise  
<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=18288>
- [28] H. Notley, C. J. Grimwood, G.J. Raw, C. Clark, R. Van de Kerckhove, G. Zepidou, 'The UK national noise attitude survey 2012 – The sample, analysis and some results', Inter-Noise 2013.
- [29] Grimwood CJ. "Effects of environmental noise on people at home". BRE information paper IP 22/93; 1993.
- [30] Van Poll, R, Breugelmans, O, Houthuijs, D, van Kamp, I. (2018). *Perception of Living Environment in the Netherlands – Disturbances Survey 2016*. RIVM Report 2020-0075 (translation of RIVM Rapport 2018-0084). National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport, Netherland.  
DOI 10.21945/RIVM-2020-0075. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0075.pdf>
- [31] DIB (2016), "Lydforhold i boliger. Evaluerende av byggetekniske krav til lydforhold". Document code 127762-RIA-RAP-001. Direktoratet for byggkvalitet, Oslo, Norge. [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/lydforhold-i-boliger\\_samlerapport\\_sintef\\_toi\\_multiconsult\\_mars-2016.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/lydforhold-i-boliger_samlerapport_sintef_toi_multiconsult_mars-2016.pdf)
- [32] Løvstad, A. & J.H. Rindel. CO Høvsøien, I Milford (2016). *Sound quality in dwellings in Norway – a socio-acoustic investigation*. Proceedings of BNAM 2016, Stockholm, Sweden.
- [33] DS/ISO/TS 15666 (2003), *Akustik – Vurdering af støjgener ved hjælp af sociologiske og socio-akustiske undersøgelser* (Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys).
- [34] Eurostat (2020). *Noise from neighbours or from the street - EU-SILC survey*. [http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ilc\\_mddw01](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ilc_mddw01) (noise results)
- [35] Rasmussen B, Ekholm O. (2015), *Neighbour and traffic noise annoyance at home - prevalence and trends among Danish adults*. Proceedings of EuroNoise 2015, p. 1895-1900. Maastricht.
- [36] Jensen H AR, Rasmussen B, Ekholm O. (2018), *Neighbour and traffic noise annoyance: A nationwide study of associated mental health and perceived stress*. European Journal of Public Health 2018;28(6),1050-1055. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cky091>
- [37] Jensen H AR, Rasmussen B, Ekholm O. (2019), *Neighbour noise annoyance is associated with various mental and physical health symptoms: Results from a nationwide study among individuals living in multi-storey housing*. BMC Public Health 2019;19,1-10. (1508). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7893-8>
- [38] Rasmussen B, Ekholm O. *Is noise annoyance from neighbours in multi-storey housing associated with fatigue and sleeping problems?* In Ochmann M, Vorländer M, Fels J

- (Eds), Proceedings of ICA 2019, Aachen, Germany. Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA e.V.). <https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239984>
- [39] Kylliäinen, M., V. Hongisto, D. Oliva, and L. Rekola (2017). "Subjective and Objective Rating of Impact Sound Insulation of a Concrete Floor with Various Floor Coverings." *Acta Acustica united with Acustica* 103: 236–51
  - [40] Jeong, J.-H., Y.-H. Kim, J.-K. Ryu, and K.-H. Kim. 2017. "Single Number Quantity of Heavy & Soft Impact Sound." Proceedings of INTER-NOISE 2017, 3825–28.
  - [41] KS F 2810-1, *Field measurement of floor impact sound insulation of buildings – Part 1: Method using standard light impact sources*.
  - [42] Späh, Moritz et al. 2014. "Subjective and Objective Evaluation of Impact Noise Sources in Wooden Buildings." *Building Acoustics* 20(3): 193–213. <https://doi.org/10.1260/1351-010X.20.3.193>.
  - [43] Rindel, Jens Holger. 2017. "A Comment on the Importance of Low Frequency Airborne Sound Insulation between Dwellings." *Acta Acustica united with Acustica* 103(1): 164–68.
  - [44] Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Rosenvænget i Frederikssund før renovering*. DELTA rapport TC-100730.
  - [45] Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj før renovering*. DELTA rapport TC-100729.
  - [46] Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Lunden i Brøndby Strand før og efter renovering*. DELTA rapport TC-100728.
  - [47] Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Ladegårdsparken i Holbæk før og efter renovering*. DELTA rapport TC-100727.
  - [48] DS/EN ISO 16032:2004 *Akustik - Måling af støj fra tekniske installationer i bygninger – Teknikermetode* (Acoustics -- Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings -- Engineering method)
  - [49] Recommendation ITU-R BS.1116-3 (2015). *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems*.
  - [50] Kvist, P., Pedersen, T.H (2006). *Translation into Danish of the questions and modifiers for socio-acoustic surveys*. Proceedings of EuroNoise 2006, Tampere, Finland.
  - [51] Truls Gjestland (2017). *Standardized general-purpose noise reaction questions*. Paper 2449, ICBEN 2017. 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem. Zürich.
  - [52] AAU BUILD's hjemmeside for nabostøj, <https://www.nabostoej.aau.dk>

## Bibliografi

I dette afsnit er anført litteratur der er fundet i projektet, men ikke er refereret til i rapportens tekst. Listen er alfabetisk opstillet efter forfatter.

- Blazier WE, DuPree RB (1994). *Investigation of low-frequency footfall noise in woodframe multi-family building construction*. J Acoustic Soc Am 1994;96(3), p. 521–32.
- Boverket (2010). *God bebygget miljø – förslag till nytt delmål för buller inomhus – resultat från projektet BETSI*. ISBN pdf: 978-91-86342-57-9.
- Brunskog, Jonas, Ha Dong Hwang, and Cheol Ho Jeong (2011). "Subjective Response to Foot-Fall Noise, Including Localization of the Source Position." *Acta Acustica united with Acustica* 97(5): 904–8.
- Christensen AI, Jensen HAR, Ekholm O, Davidsen M (2018). *Materiale og metode. Sundheds- og sygelighedsundersøgelsen 2017*. København: Statens Institut for Folkesundhed, SDU. [https://www.sdu.dk/da/sif/rapporter/2018/materiale\\_og\\_metode\\_sundheds\\_og\\_sygelighedsundersogelsen\\_2017](https://www.sdu.dk/da/sif/rapporter/2018/materiale_og_metode_sundheds_og_sygelighedsundersogelsen_2017)
- Christensen, Anne Illema, Ola Ekholm, Charlotte Glümer, Knud Juel (2014). "Effect of Survey Mode on Response Patterns: Comparison of Face-to-Face and Self-Administered Modes in Health Surveys." *European Journal of Public Health* 24(2): 327–32.
- Craik, R. J M, and J. R. Stirling (1986). "Amplified Music as a Noise Nuisance." *Applied Acoustics* 19(5): 335–46.
- DEFRA (2010). *Noise Policy Statement for England (NPSE)*, [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk); [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69533/pb13750-noise-policy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69533/pb13750-noise-policy.pdf)

- Dimosthenis A. Sarigiannis (2014). "Combined or Multiple Exposure to Health Stressors in Indoor Built Environments." (October): 82.
- Dong, Wayland, and John Loverde (2018). "Predicting field impact isolation based on the rating for improvement in high- frequency impact isolation." Proceedings of Inter-Noise 2018.
- European Environment Agency (2014). *Good practice guide on quiet areas*. EEA Technical report No 4/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-quiet-areas>
- European Parliament. (2002). *DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise*. Official Journal of the European Communities, L 189. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>
- Gjertsen, Christian Edvard Stampe (2017). *Investigation of the Subjective-Objective Relationship in Airborne Sound Insulation*. DTU, Department of Electrical Engineering.
- Glebe, Dag (2018). "Acoustic and socioeconomic parameters as predictors of wind turbine noise annoyance." Proceedings of BNAM2018.
- Hawkins, Giovanni (2018). "Estimation of residential noise levels due to service equipment." Proceedings of BNAM2018.
- Hoffmeyer, Dan & Rasmussen, Birgit (2015). *Laboratorietest af trinlyddæmpning for gulve – SBI-projekt 721-082 projektdel C*. DELTA Rapport TC-100674-1. Hørsholm.
- Hongisto, V. et al. (2013). "Acoustic Satisfaction in Multi-Storey Buildings Built after 1950 - Preliminary Results of a Field Survey." Proceedings of Inter-Noise 2013.
- Hongisto, Valtteri, David Oliva, and Jukka Keränen (2014). "Subjective and Objective Rating of Airborne Sound Insulation - Living Sounds." *Acta Acustica united with Acustica* 100(5): 848–63.
- Hongisto, V. et al. (2018). "Satisfaction with Sound Insulation in Residential Dwellings - The Effect of Wall Construction." *Building and Environment* 85: 309–20.
- Hopkins, Carl (2018). "Sound Transmission in Buildings : Recent Developments and Current Challenges in Measurement and Prediction." Proceedings of Inter-Noise 2018.
- Jeon, Jin Yong, Jong Kwan Ryu, and Pyoung Jik Lee (2010). "A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings." *Applied Acoustics* 71(10): 914–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.06.001>.
- Jeong, J. H. (2018). "Low-frequency impact sound pressure level characteristics with three standard impact sources in Korean reinforced concrete structured apartment buildings. J. Phys.: Conf. Ser. 1075 012065. DOI: [10.1088/1742-6596/1075/1/012065](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1075/1/012065)
- Jeong, Jeongho, and Gyeonggi-do Korea (2018). "Auditory experiment for classification scheme on rubber ball impact sound." Proceedings of Inter-Noise 2018
- Jeong, Jeongho, Yonghee Kim, and Kyeoungho Kim (2018). "Just noticeable difference of rubber ball impact sound." Proceedings of BNAM 2018.
- Jeong, Jeongho, Yonghee Kim, and Kyounggho Kim (2018). "Classification criteria of heavy / soft impact sound." Proceedings of Euronoise 2018.
- Jeong Ho Jeong, Sang Hee Park, Pyoung Jik Lee (2019). *Single-Number Quantities of Heavy-weight Impact Sound Insulation*. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 105 (2019) p.5-8. <https://DOI.org/10.3813/AAA.919280>
- Kim, Y.H. et al. (2017). "A guideline of heavy-weight floor impact noise reduction for retrofitted apartment buildings in Korea." Proceedings of Inter-Noise 2017.
- Larsson, Krister, and Andreas Colebring (2018). "Evaluation of the acoustic performance of a CLT floor in a wide frequency range." Proceedings of BNAM 2018.
- Lee, Byung Kwon, Bon Soo Koo, and Eun Kyu Lee (2017). "The impact of athletic on the floors in multi-layered sports facilities." Proceedings of Internoise 2017.
- Lee, Sungchan, and Jeongho Jeong (2017). "Low frequency measurement of heavy weight impact sound in a small space." Proceedings of Inter-Noise 2017.
- Liebl, A., M. Späh, O. Bartlomé, and M. Kittel (2013). "Evaluation of acoustic quality in wooden buildings." Proceedings of Inter-Noise 2013.
- Lietzén, J., M. Kylliäinen, V. Kovalainen, and V. Hongisto (2013). "Evaluation of impact sound insulation of intermediate floors on the basis of tapping machine and walking." Proceedings of Inter-Noise 2013.
- Ljunggren, Fredrik, Christian Simmons, Rikard Öqvist (2017). *Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, part I*. *Applied Acoustics* 123 (2017) 143–151.

- Ljunggren, Fredrik, and Christian Simmons (2018). "Airborne sound insulation between dwellings, from 50 vs. 100 Hz – A compilation of Swedish field surveys." *Applied Acoustics* 133 (December 2017): 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.12.017>.
- LoVerde, John J., and D. Wayland Dong (2017). "A Dual-Rating Method for Evaluating Impact Noise Isolation of Floor-Ceiling Assemblies." *The Journal of the Acoustical Society of America* 141(1): 428–40. <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.4973868>.
- LoVerde, John, and Wayland Dong (2018). "Developing Classifications Using a Dual-Rating Method of Evaluating Impact Noise." Proceedings of Inter-Noise 2018.
- Nilsson, Erling, and Hammer, Per (1999). *Subjective Evaluation of Impact Sound Transmission through Floor Structures*. Lund University TVBA – 3103 September 1999.
- Park, H. K.; Bradley, J. S.; Gover, B. N. (2008). *Rating Airborne Sound Insulation in Terms of the Annoyance and Loudness of Transmitted Speech and Music Sounds*. NRC Publications Archive Archives Des Publications Du CNRC.
- Rasmussen, B. (2010). *Sound insulation between dwellings - Requirements in building regulations in Europe*. *Applied Acoustics*. 71(4):373-385. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.08.011>
- Rasmussen, B. Rindel JH. (2010). *Sound insulation between dwellings - Descriptors applied in building regulations in Europe*. *Applied Acoustics*. 71(3), 171-180. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.08.011>
- Rasmussen, B., & Petersen, C.M. (2014). *Lydisolering af klimaskærmen* (SBI-anvisning 244). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Rasmussen, B. (2017). *Sound insulation in multi-storey housing in Europe – Situation Anno 2017 and needs for upgrading*. InterNoise2017, Hong Kong.
- Rasmussen, Birgit (2019). "Use of ISO 717 low-frequency sound insulation descriptors in acoustic regulations and recommendations for housing in Europe." Proceedings of DAGA 2019, DEGA, Berlin.
- Rasmussen B. (2019) *Sound insulation between dwellings – Comparison of national requirements in Europe and interaction with acoustic classification schemes*. Proceedings of ICA 2019, 23rd International Congress on Acoustics, Sept. 2019, Aachen, Germany. Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA e.V.). <https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239983>
- Ryu, J. et al. (2017). "Discussion on Measurement and Classification of Drainage Noise in Bathroom." Inter-noise 2017.
- Ryu, Jongkwan, and Hansol Song (2018). "Acoustic Classification of Noise in Bathroom of Apartment Building through Auditory Experiment." Proceedings of Inter-Noise 2018.
- Simmons (2019). "Är störande ljud i trähus bara en myt?" Bygg & teknik 3/19.
- Song, Hansol, Jongkwan Ryu, and Jaeseung Hwang (2018). "Difference in Annoyance of Environmental Noise between Indoor and Outdoor Hearing Situation in Residential Space." Inter-noise 2018.
- Virjonen, Petra, Valtteri Hongisto, and David Oliva (2016). "Optimized Single-Number Quantity for Rating the Airborne Sound Insulation of Constructions : Living Sounds." J. Acoust. Soc. Am. 140 (6), December 2016.
- Vorländer, Michael, and Muhammad Imran (2018). "Real-Time Auralization of Sound Insulation." Inter-Noise 2018.
- Warnock, ACC. (1998). "Floor Research at NRC Canada". Conference in Building Acoustics "Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings", 1998, Dublin, Ireland.
- Warnock, ACC (1992). "Low Frequency Impact Sound Transmission through Floor Systems." Inter-Noise 1992.
- WHO (2009). *Night noise guidelines for Europe*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2009/night-noise-guidelines-for-europe>
- Yilmazer, Semiha, and Volkan Acun (2018). "A Qualitative Approach to Investigate Indoor Sound-scape of the Built Environment." Proceedings of Inter-Noise 2018.
- Zepidou, Georgia, Charlotte Clark, Mel Smuk (2015). *NANR322 Survey of Noise Attitudes (SoNA) 2013 - NO0242*. Report Ref: 47067932.NN1501.R1/02. AECOM Infrastructure & Environment UK Limited. <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&ProjectID=18997&FromSearch=Y&Publisher=1&SearchText=sona&GridPage=1&SortString=ProjectCode&SortOrder=Asc&Paging=10#Description>

# Appendiks A – Forslag standardiseret metode til laboratorielytteforsøg

Det overordnede formål med projektet var at beskrive og afprøve en metode til udførelse af lyttetest med nabostøj som lydstimuli. Metoden er afprøvet og lyttetestens resultater har haft betydning for en opdatering af lyttetestmetoden og udgør et direkte grundlag for metodens appendikser om nabostøj og trinlyd. Metoden er beskrevet i et separat dokument: *"Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise"*, se [11]. Der findes ikke en internationalt standardiseret metode for sådanne laboratorielytteforsøg, og projekterfaringerne påtænkes nyttiggjort ved indsendelse af den udarbejdede guideline som forslag til arbejdssemne i fx ISO/TC 43/SC 2 Building Acoustics.

For at give et indtryk af metodebeskrivelsens indhold og omfang gengives indholdsfortegnelsen herunder:

## Content

<b>1. Scope.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Field of application.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Normative references.....</b>	<b>6</b>
<b>4. Definitions and terms.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Stimuli .....</b>	<b>8</b>
5.1 Recording of stimuli .....	8
5.2 Auralization of stimuli.....	9
5.3 Acoustic context .....	9
5.4 Calibration of recordings and sound files .....	10
5.5 Reference stimuli .....	10
5.5.1 Anchor stimuli and data aggregation .....	10
<b>6. Listening facilities.....</b>	<b>11</b>
6.1 Listening room and listening booths.....	11
6.2 Sound reproduction equipment.....	11
6.3 Calibration of play-back level.....	12
<b>7. Assessors.....</b>	<b>13</b>
<b>8. Attributes and scales .....</b>	<b>14</b>
8.1 Scales for annoyance .....	14
8.2 Perceptual attributes.....	15
8.3 Finding and selecting consensus attributes .....	15
8.4 Language issues .....	16
<b>9. Context considerations.....</b>	<b>16</b>



<b>10. Test administration .....</b>	<b>16</b>
10.1 Blind tests .....	17
10.2 Randomization of stimuli.....	17
10.3 Test duration .....	17
10.4 Length of sound samples .....	17
10.5 Instruction of test persons .....	17
10.6 Familiarisation .....	17
10.7 Debriefing .....	18
10.8 Physical measurements .....	18
<b>11. Statistical analysis .....</b>	<b>18</b>
<b>12. Report.....</b>	<b>19</b>
<b>13. Bibliography .....</b>	<b>21</b>
<b>14. Appendix 1 – Applications for sound insulation against airborne sound ...</b>	<b>22</b>
14.1 Neighbour noise .....	22
14.2 Neighbour noise standard stimuli .....	22
14.3 Traffic noise.....	25
<b>15. Appendix 2 – Application for impact sound from neighbours.....</b>	<b>26</b>
15.1 General.....	26
15.2 Instrumentation .....	26
15.3 Impact sources .....	26
15.4 Impact source positions for single point impact .....	28
15.5 Impact source positions for continuously moving impact .....	28
15.6 Microphone positions in receiving room .....	29
15.7 Background noise .....	29
15.8 Measurement of sound insulation between measurement rooms .....	29
15.9 Reverberation time.....	29
<b>16. Appendix 3 – Scale labels for noise annoyance in other languages .....</b>	<b>30</b>
<b>17. Appendix 4 – Simplified background noise .....</b>	<b>31</b>
17.1 Simplified outdoor background noise.....	31
17.2 Simplified indoor traffic noise .....	32

## Appendiks B – Resultater feltmålinger trinlyd

Der er udført trinlydmålinger og lydoptagelser i dette projekt i to lejligheder i bygningstype E1 og E2, se afsnit 5. Det var også ønsket at udføre målinger og optagelser i bygningstype E3. Dette viste sig ikke praktisk muligt, og der er derfor anvendt målinger fra tidligere projekter i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj [45] og bebyggelsen Lunden i Brøndby Strand [46].

I dette projekt er der ligeledes udført målinger og lydoptagelser i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj. For at kunne simulere optagelser af trinlydstimuli i bygningstype E3, er der anvendt data fra tidligere målinger i Lunden og Kagshusene til at beregne en forskel mellem trinlydniveauerne for de to typer bygninger. Forskellen mellem trinlydniveauerne er efterfølgende anvendt som frekvensvægtning af E2 optagelser (gulv nr. 2) til at skabe E3 lyttestimuli (gulv nr. 3).

Tilsvarende er der skabt en simuleret version af gulv nr. 2 for at kunne teste, om metoden med at simulere et gulv kan anvendes. Gulvene anvendt i projektet er vist i nedenstående Tabel 15.

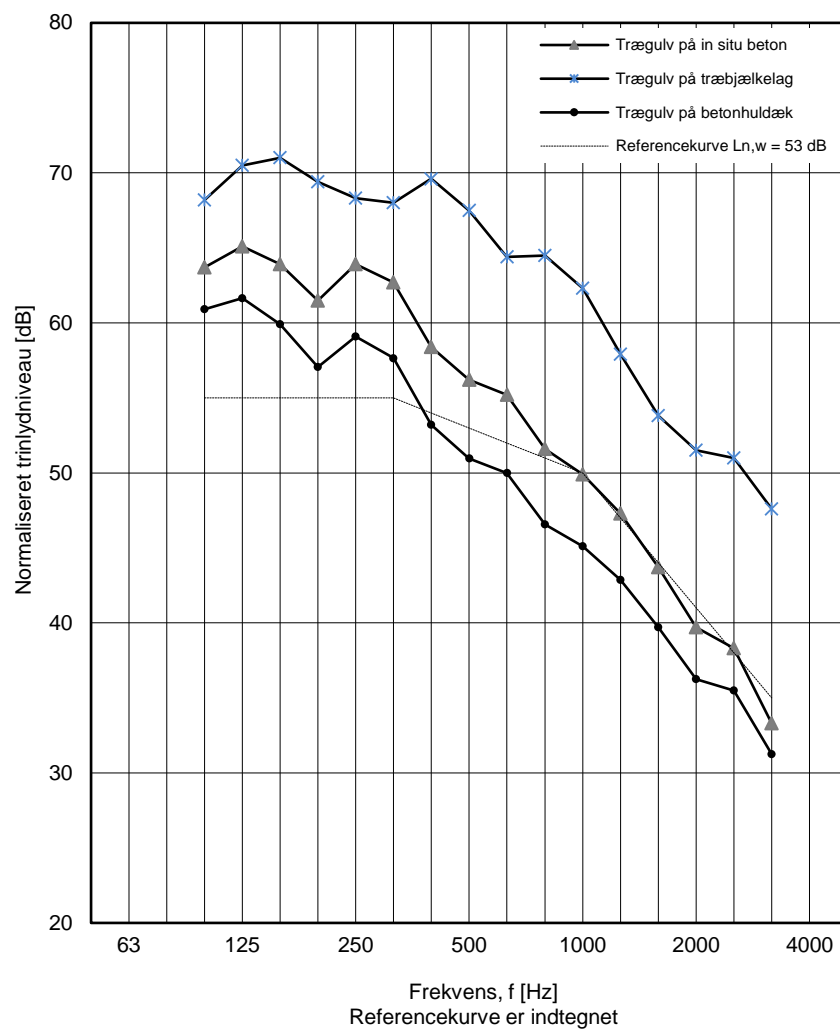
Tabel 15. Gulve, der indgår i lyttest.

Gulv nr./ Bygningstype	Beskrivelse	Lydstimuli Optaget/ simuleret	Anvendte data
1 / E1	Trægulv på træbjælker	Optaget	
2 / E2	Trægulv på beton støbt på stedet	Optaget	
2a / E2	Trægulv på beton støbt på stedet simuleret ud fra gulv 1	Simuleret	Trinlydmåling af gulv nr. 1 Trinlydmåling af gulv nr. 2.
3 / E3	Trægulv på betonhuldæk simuleret ud fra gulv 2	Simuleret	Gennemsnit af 5 lodrette trinlydmålinger af gulvtype E2 i Kagshusene [45]. Gennemsnit af 10 lodrette trinlydmålin- ger af gulvtype E3 i Lunden [46].

Måling og simulering af trinlydniveauer er illustreret samlet på Figur 15 og kan ses på kurvebladene i Figur 16 til Figur 19.

Måleresultaterne er præsenteret i frekvensområdet 100-3150 Hz, idet dette er frekvensområdet, der normalt benyttes til trinlydmålinger udført som dokumentation for overholdelse af bygningsreglementets lydkrav, se [15] og [16]. Fokus i forbindelse med målinger og lydoptagelser var at udføre optagelser til brug i lytteforsøg, og samtidigt kunne relatere disse til de bygningsakustiske parametre. Grundet standardindstillinger på lydtrykmålinger blev det ikke opdaget, at frekvensområdet var begrænset til 100-3150 Hz, og dermed at det lavfrekvente frekvensområde ikke blev målt. Stimuli til lyttest indeholder dog hele frekvensområdet ned til 50 Hz.

Ved kommende lyttest er det vigtigt at inkludere andre typer etageadskillelser, at udføre feltmålinger ned til 50 Hz ifølge ISO 16283-2 [18] og at analysere resultaterne tilsvarende.



Figur 15. Trinlydniveau pr. 1/3 oktav for de testede etageadskillelser.

# Måling af trinlydniveau i bygninger i henhold til DS/EN ISO 16283-2:2015

Rekvirent: Landsbyggefonden, Projekt Lyttetestmetode for trinlyd

Måledato: 9. august 2018

Målested: Korsgade 10, Nørrebro

Senderum: Dagligstue, 5. sal

Modtagerum: Dagligstue, 4. sal

Måleobjekt: Etageadskillelse, Trægulv på træbjælkelag

Bygningstype: E1

Fælles areal, S: 15.0 m<sup>2</sup>

Modtagerums volumen: 61 m<sup>3</sup>

Frekvens f [Hz]	L' <sub>n</sub> 1/3-oktav [dB]
100	68.2
125	70.5
160	71.0
200	69.4
250	68.3
315	68.0
400	69.6
500	67.5
630	64.4
800	64.5
1000	62.3
1250	57.9
1600	53.8
2000	51.5
2500	51.0
3150	47.6



Vægtet normaliseret trinlydniveau i henhold til DS/EN ISO 717-2:2013:

$$L'_{n,w}(C_1) = 65 (-1) \text{ dB}$$

Vurdering baseret på feltmåleresultater opnået med en klasse 2-metode.

Udført af FORCE Technology

Rasmus Stahlfest Holck Skov  
Akustik, Støj og Vibrationer

Figur 16. Kurveblad 1. Trinlydmåling (lodret) træbjælkelag, bygningstype E1.

# Måling af trinlydniveau i bygninger i henhold til DS/EN ISO 16283-2:2015

Rekvirent: Landsbyggefonden, Projekt Lyttetestmetode for trinlyd

Måledato: 30. november 2018

Målested: Kagshusene, Voldfløjen, Brønshøj

Senderum: Spisestue, 2. th

Modtagerum: Soveværelse, 1. th

Måleobjekt: Etageadskillelse, Trægulv på in situ beton

Bygningstype: E2

Gulvareal: 14.8 m<sup>2</sup>

Modtagerums volumen: 33 m<sup>3</sup>

Frekvens f [Hz]	L' <sub>n</sub> 1/3-oktav [dB]
100	63.7
125	65.1
160	63.9
200	61.5
250	63.9
315	62.7
400	58.4
500	56.2
630	55.2
800	51.6
1000	49.9
1250	47.3
1600	43.7
2000	39.7
2500	38.3
3150	33.3



Vægtet normaliseret trinlydniveau i henhold til DS/EN ISO 717-2:2013:

$$L'_{n,w} (C_l) = 57 (0) \text{ dB}$$

Vurdering baseret på feltmåleresultater opnået med en klasse 2-metode.

Udført af FORCE Technology

Rasmus Stahlfest Holck Skov  
Akustik, Støj og Vibrationer

Figur 17. Kurveblad 2. Trinlydmåling (lodret) på støbt beton, bygningstype E2.

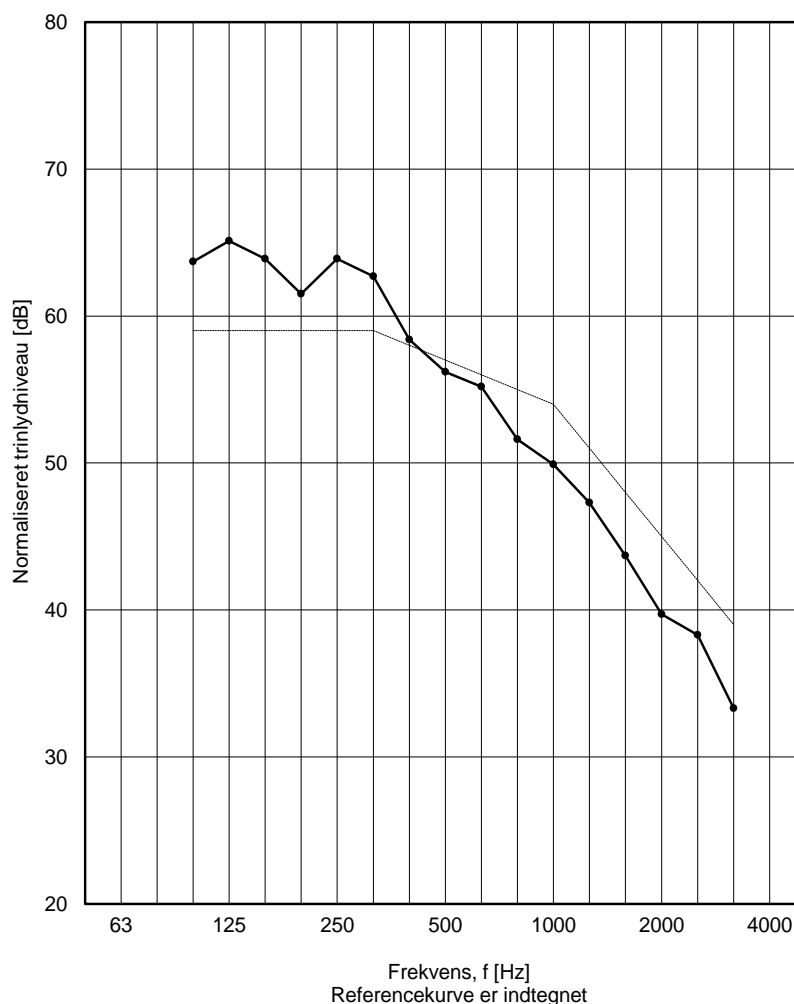
# Simulering af trinlydniveau af trægulv på in situ beton

Rekvirent: Landsbyggefonden, Projekt Lyttetestmetode for trinlyd

Baggrund for måledata: Forskel på måledata af trægulv på træetageadskillelse og trægulv på in situ beton

Simuleret bygningstype: E2

Frekvens f [Hz]	L' <sub>n</sub> 1/3-oktav [dB]
100	63.7
125	65.1
160	63.9
200	61.5
250	63.9
315	62.7
400	58.4
500	56.2
630	55.2
800	51.6
1000	49.9
1250	47.3
1600	43.7
2000	39.7
2500	38.3
3150	33.3



Vægtet normaliseret trinlydniveau i henhold til DS/EN ISO 717-2:2013:

$$L'_{n,w}(C_1) = 57 (0) \text{ dB}$$

Vurdering baseret på feltmåleresultater opnået med en klasse 2-metode.

Udført af FORCE Technology

Rasmus Stahlfest Holck Skov  
Akustik, Støj og Vibrationer

Figur 18. Kurveblad 3. Trinlydniveau (lodret) simuleret, bygningstype E3.

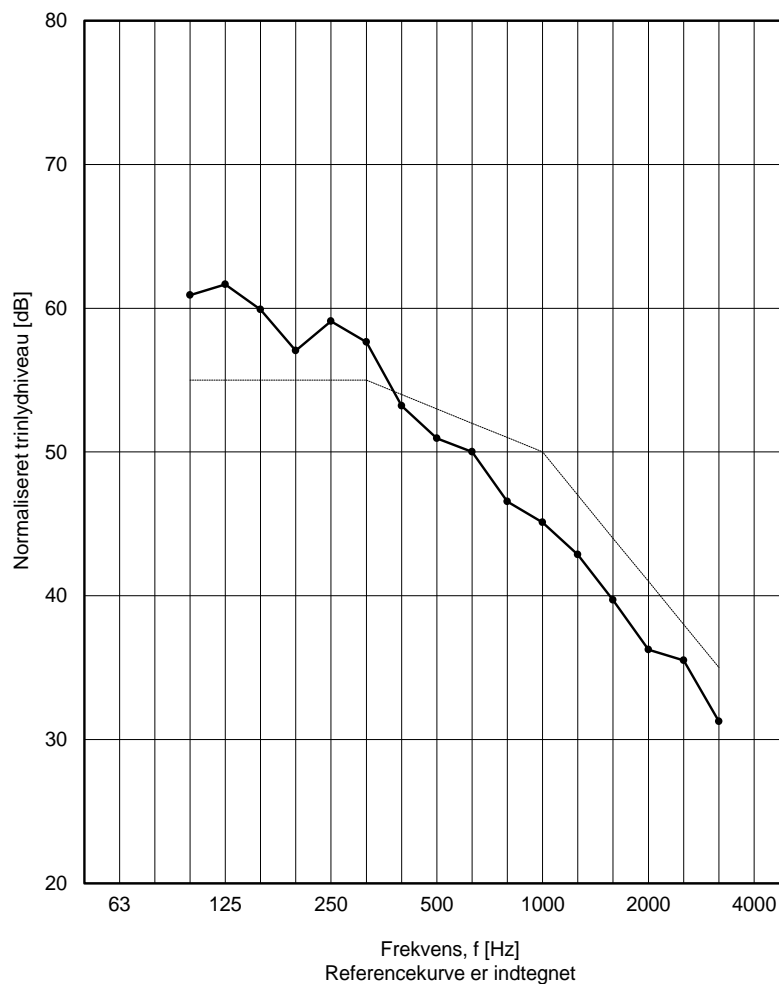
# Simulering af trinlydniveau af trægulv på betonhuldæk

Rekvirent: Landsbyggefonden, Projekt Lyttetestmetode for trinlyd

Baggrund for måledata: Forskel på måledata af trægulv på in situ beton og trægulv på betonhuldæk

Simuleret bygningstype: E3

Frekvens f [Hz]	L' <sub>n</sub> 1/3-oktav [dB]
100	60.9
125	61.7
160	59.9
200	57.1
250	59.1
315	57.7
400	53.2
500	51.0
630	50.0
800	46.6
1000	45.1
1250	42.9
1600	39.7
2000	36.3
2500	35.5
3150	31.3



Vægtet normaliseret trinlydniveau i henhold til DS/EN ISO 717-2:2013:

$$L'_{n,w} (C_T) = 53 (0) \text{ dB}$$

Vurdering baseret på feltmåleresultater opnået med en klasse 2-metode.

Udført af FORCE Technology

Rasmus Stahlfest Holck Skov  
Akustik, Støj og Vibrationer

Figur 19. Kurveblad 4. Trinlydniveau (lodret) simuleret, bygningstype E3.

## Appendiks C – Sammenfatning analyseresultater lytteforsøg

I dette afsnit beskrives nogle af lytteestens resultater, herunder besvarelse af de forskningsspørgsmål, som er grundlaget for afprøvningen, og opdatering af metodebeskrivelsen, reference [11]. En uddybende beskrivelse af lytteesten og dens resultater kan findes i reference [10].

Nærværende projekt er fokuseret på udvikling af lytteestmetoden. Lytteest er gennemført med et begrænset antal bygningskonstruktioner. Resultaterne for luftlyd gennem vægge og trinlyd gennem etageadskillelser er vist som grafer for sammenhængen mellem oplevet gene og de bygningsakustiske målestørrelser  $R'_w$  (luftlyd) og  $L'_{n,w}$  (trinlyd) anvendt i det danske bygningsreglement, se [15] og [16]. Ved kommende lytteest er det vigtigt at inkludere flere typer bygningskonstruktioner for både luftlyd og trinlyd og at analysere sammenhængen mellem oplevet gene og bygningsakustiske målestørrelser, der går ned til 50 Hz, som anvendes til lydisolationskrav i flere af de øvrige nordiske lande, se fx. [24].

### Hvilken metrik giver den bedste sammenhæng med genevirkningen?

Lydtrykniveauer kan karakteriseres med forskellige metrikker. I dette projekt har vi undersøgt om gennemsnitsniveauet (det ækvivalente A-vægtede lydtrykkniveau,  $L_{Aeq}$  i dB) eller maksimalniveauet (de A-vægtede maksimalniveauer med tidsvægtning F,  $L_{pAmaxF}$  i dB) giver den bedste sammenhæng med bedømmelserne af genevirkningen.

Hvert punkt på Figur 20 repræsenterer en lyd og er placeret ud for lydens niveau (på x-aksen) og den gennemsnitlige bedømmelse af genevirkningen (på y-aksen) foretaget af de 13 lyttere. Det ses, at punkterne på den øverste graf lægger sig omkring en kurve, som beskriver sammenhængen mellem lydstyrken (dosis) og den genevirkning (respons) den pågældende lydstyrke giver anledning til, en såkaldt dosis-responskurve.

Det ses umiddelbart, at der er en væsentligt bedre sammenhæng mellem midelniveauerne,  $L_{Aeq}$  og genevirkningen, end der er for maksimalniveauerne.

På det øverste diagram i Figur 20 er indtegnet den dosis-responskurve som bedst beskriver den gennemsnitlige sammenhæng mellem  $L_{Aeq}$  og genevirkningen.

Figurerne viser resultaterne for hovedtelefonengivelsen. Samme resultater fås for højttalergengivelse, se reference [10].





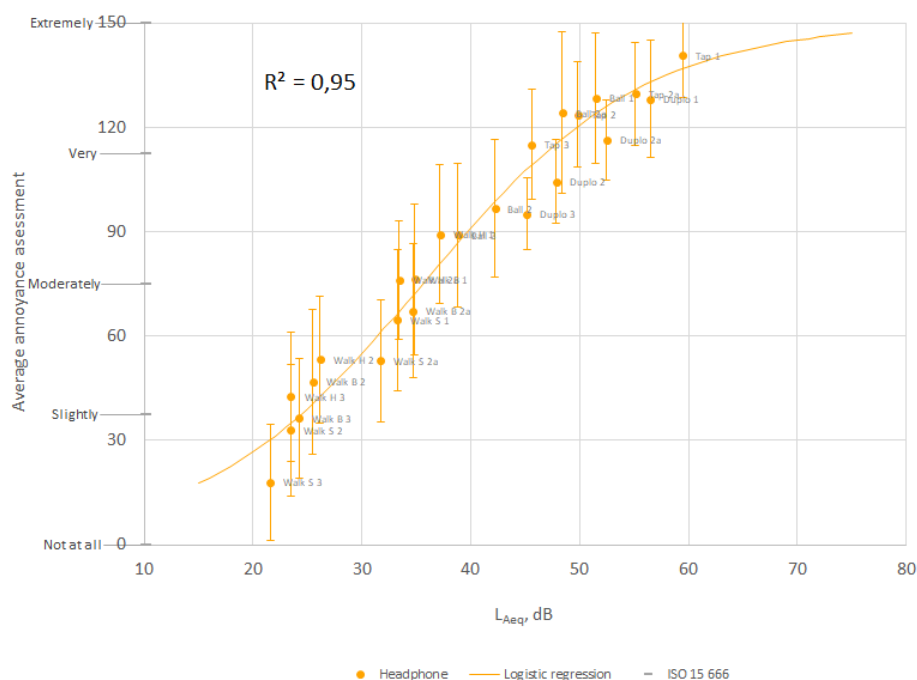
### Afhænger bedømmelserne af reproduktionsteknikken?

Hvis man skal sammenligne resultaterne fra forskellige lytteforsøg, er det vigtigt at vide om det har haft indflydelse, om lydene var afspillet over hovedtelefoner, stereo-højtalere eller som surround-lyd.

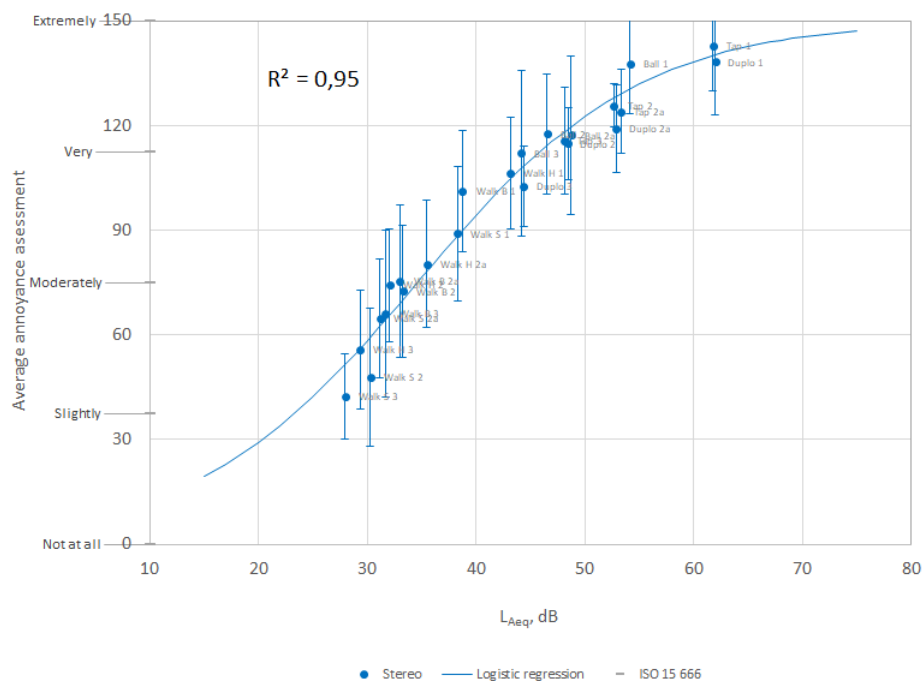
I de udførte lytteforsøg foretog assessorerne bedømmelser af genevirkningen af de samme stimuli afspillet på de tre nævnte måder.

Figur 21, Figur 22 og Figur 23 viser resultaterne for trinlyd. Ud over resultaterne for de enkelte stimuli som er vist med punkterne, er også vist de dosis-responskurver, som kan udledes af resultaterne. Tilsvarende resultater er fundet for nabostøj gennem vægge, trafikstøj og ventilationsstøj.

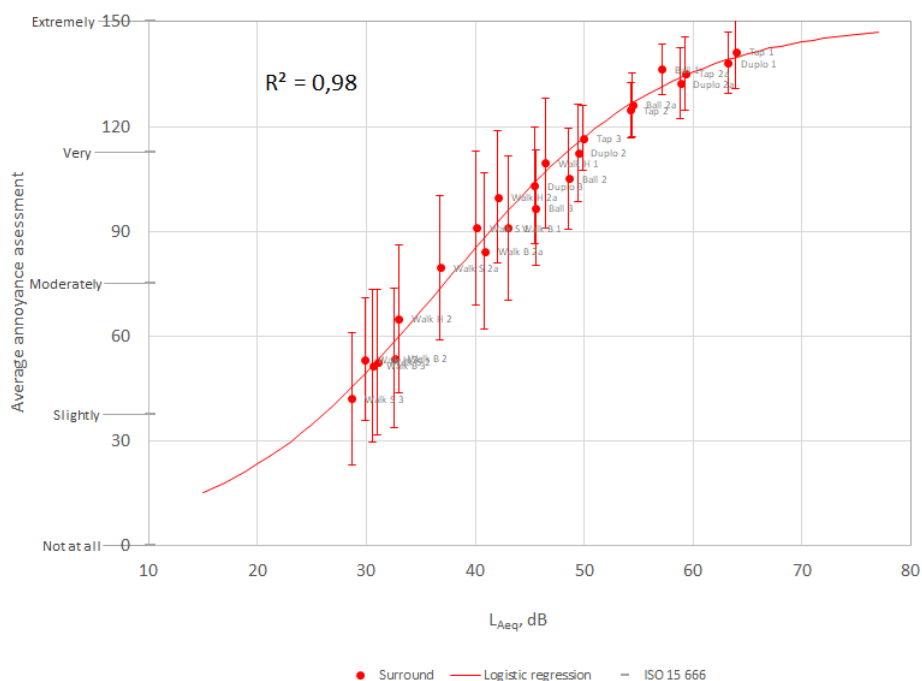
Ved sammenligning af dosis-responskurverne for de tre reproduktionsmåder, finder man, at hvis stereo-lydfiles afspilles over hovedtelefoner eller som surround-sound skal lydtrykniveauet være 3 dB højere end over stereohøjttalere for at give samme bedømmelser af genevirkning.



Figur 21. Vurderingen af gene i forhold til lydtrykniveauerne for trinlyd med hovedtelefonreproduktionen målt med HATS 4100 (gennemsnit af venstre og højre kanal). Den lodrette akse er vurderingen af gene, som er kvantificeret på en 0-150 skala "bag" brugergrænsefladen, se Figur 13. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. Mærkatene til højre for punkterne er koder for de forskellige stimuli, se afsnit 6.2.2. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.



Figur 22. Vurderingen af gene i forhold til lydtrykniveauerne for trinlyd med stereo-reproduktionen målt med målemikrofon i lyttepositionen. Den lodrette akse er vurderingen af gene, som er kvantificeret på en 0-150 skala "bag" brugergrænsefladen, se Figur 13. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. Mærkatene til højre for punkterne er koder for de forskellige stimuli, se afsnit 6.2.2. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.



Figur 23. Vurderingen af gene i forhold til lydtrykniveauerne for trinlyd med surround-reproduktionen målt med målemikrofon i lyttepositionen. Den lodrette akse er vurderingen af gene, som er kvantificeret på en 0-150 skala "bag" brugergrænsefladen, se Figur 13. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. Mærkatene til højre for punkterne er koder for de forskellige stimuli, se afsnit 6.2.2. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.

## Hvilke trinlydkilder giver den bedste sammenhæng med naturlige trin?

Forskellige aktiviteter i en overbos lejlighed kan give anledning til hørbar lyd gennem loftet. Den lyd som skyldes en direkte påvirkning af overboens gulv, kaldes trinlyd. En ofte forekommende lyd er lyden af trin, så det ville være oplagt generelt at benytte lyden af trin i en lyttetest. Der blev lavet optagelser af trin med sko bløde og hårde såler samt med bare fødder.

Målingerne viste, at det er meget vanskeligt at få samme resultater fra gang til gang. Selv, når den samme person går i samme takt, på den samme rute, i den samme lejlighed og gør sig umage med at gå på samme måde, bliver der væsentlige forskelle på resultaterne. Hvis vi arbejder hen mod en generelt anvendelig metode, må vi erkende at trin fra forskellige personer i forskellige lejligheder ikke kan sammenlignes på en reproducerbar måde. Desuden er trin en meget svag lydkilde, så det giver måletekniske problemer. Derfor blev der udført målinger med forskellige andre mere reproducerbare lydkilder, se Tabel 12, for at se hvilke der gav bedst overensstemmelse med optagelserne af lyden af trin.

Resultaterne viste, at de relative bedømmelser af de tre forskellige etageadskillelser 1, 2 og 3, se Tabel 13 stort set var uafhængige af hvilke lydkilder, der blev brugt.

Det kan således konkluderes, at alle tre lydkilder: Bold, Duplo klodser og bankemaskine, brugt som beskrevet i Tabel 12 er egnede til udførelse af lyttetests. Bankemaskinen blev dog af assessorerne betegnet som en meget unaturlig lydkilde.

## Kan man simulere lyden gennem andre etageadskillelser?

Hvis man vil undersøge, hvor meget en ændring af en konstruktion har betydning for genevirkningen, eller hvis man vil sammenligne virkningen af alternative konstruktioner, kan man simulere lyden af alternativerne ud fra optagelser af lyden fra andre gulvkonstruktioner.

Men får man samme bedømmelser af genevirkningen af de simulerede som af de rigtige konstruktioner?

I projektet har vi sammenlignet bedømmelser af optagelser af en rigtig gulvkonstruktion med simuleringer af samme konstruktion ud fra optagelser af en anden konstruktion, se Tabel 13.

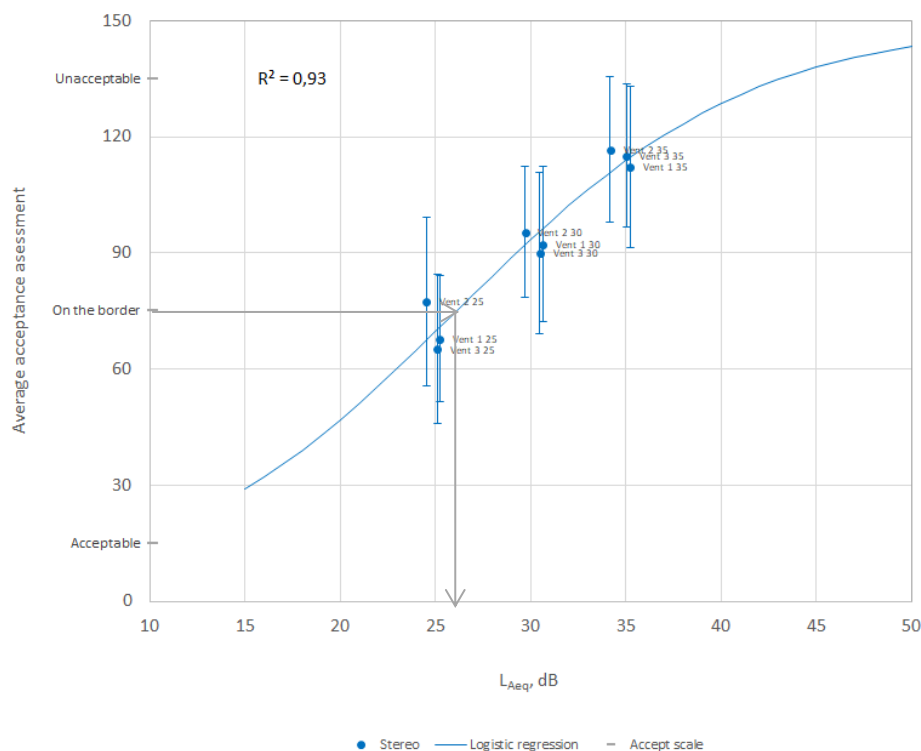
Ud fra lyttetestens resultater kan vi konkludere, at der ikke er nogen signifikant eller systematisk afvigelse af mellem bedømmelserne af gene for optagelserne af et "rigtigt" gulv og det samme simulerede gulv for nogen af lydkilderne. Dette indikerer, at simuleringer/auraliseringer af gulve kan bruges til bedømmelse af genepotentialet ved en lyttetest. Der er dog kun tale om resultater fra en enkelt gulvtype, så der er brug for flere forsøg, før der kan foretages en bredere generalisering.

## Hvad er det acceptable niveau for ventilationsstøj?

I bygningsreglementet er grænsen for ventilationsstøj i beboelsesrum sat til 30 dB(A). I mange boligprojekter tilstræber man dog et lavere niveau. Der er derfor relevant at vide, hvad det acceptable niveau af ventilationsstøj er.

Som tidligere nævnt er det, man kan måle i en lyttetest et genepotentiale, som er bedst egnet til relative sammenligninger. Selv om der måske ikke er en en-til-en sammenhæng med den gene man vil opleve i sin bolig, giver resultaterne alligevel et fingerpeg. Ud over gene, blev assessorerne også bedt om at bedømme accept af ventilationsstøjen.

Det er valgt at gå ud fra resultaterne fra stereo-afspilningen, da den blev opfattet som mere naturlig end gengivelsen over hovedtelefoner. Resultaterne er vist på Figur 24.



Figur 24. Vurderingen af accept i forhold til lydtrykniveauerne for ventilationsstøjen med stereo-reproduktionen målt med målemikrofon i lyttepositionen. Den lodrette akse er vurderingen af accept, som er kvantificeret på en 0-150 skala "bag" brugergrænsefladen, se Figur 14. Mærkaterne til højre for punkterne er koder for de forskellige stimuli, se afsnit 6.2.2. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.

Ud fra dosis-responskurven på figuren ses at grænsen for accept ligger på 26 dB(A). Der er ikke signifikant forskel på de tre typer af ventilation, men der er dog en tendens til, at den hvislende type 2 er lidt mere uacceptabel. Den skal være ca. 3 dB svagere for at svare til de to andre typer.

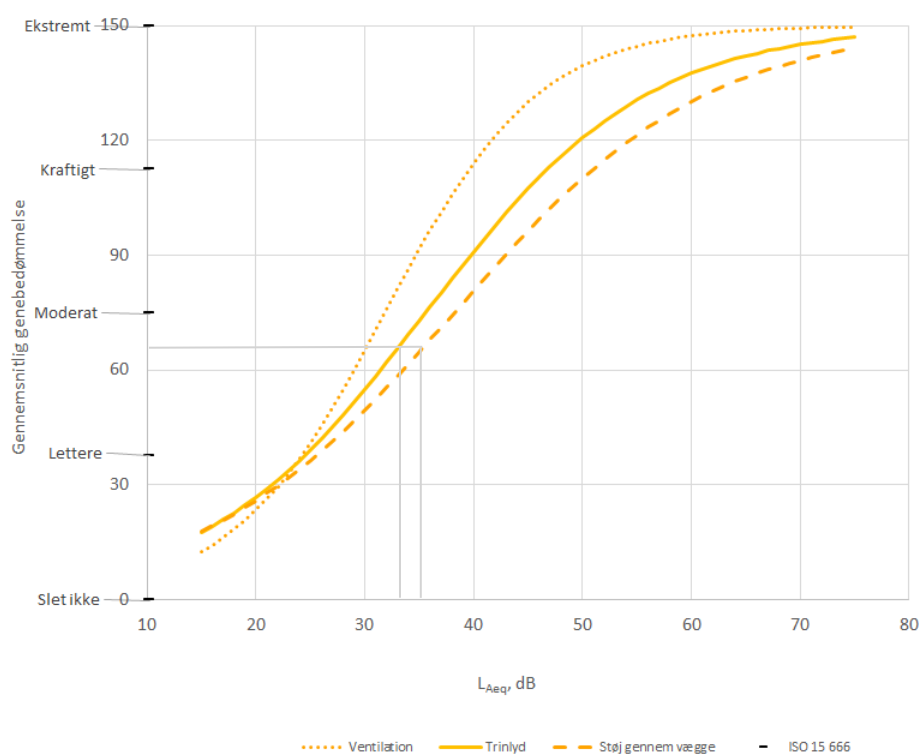
En sammenligning af resultaterne fra gene- og acceptbedømmelserne af ventilationsstøjen viser, at grænsen for det acceptable ligger ved det, der på brugerfladen for gene benævnes "Moderat generende".

## Er forskellige slags støj lige generende?

I instruktionen til assessorerne fremgik det, at man skulle forestille sig at nabostøjen (musik, stemmer, toiletskyl, trin, bold, Legoklodser og bankemaskine m.m.) forekom ca. hvert tiende minut med samme varighed (dvs. 15-20 sekunder) som i testen. Trafikstøjen er repræsentativ for støjen en hel aften. For ventilationsstøjen skulle man forestille sig, at den forekom i døgndrift (også i soveværelset), uden at man har mulighed for at regulere den.

Der er således lidt forskellig instruktion for nabostøj og ventilationsstøj, desuden er lydkarakteren forskellig og holdningen til støjkilderne kan også være forskellig.

Resultaterne fra lyttetesten viser da også, at der er forskelle i bedømmelsen af genevirkningen ved samme lydtrykniveauer ( $L_{Aeq}$ ) for lydene, se Figur 25. På figuren er de enkelte målepunkter udeladt, og vi sammenligner dosis-responskurverne.



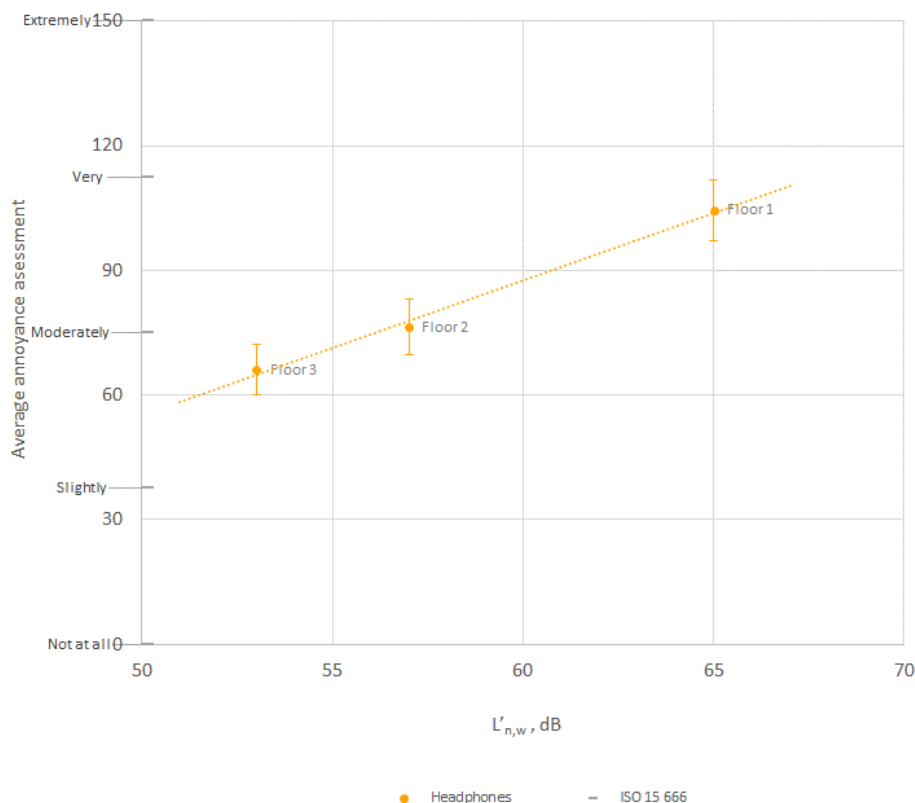
Figur 25. Dosis-responskurver for sammenhængen mellem lydtrykniveauet i af de forskellige typer lyde og den gennemsnitlige bedømmelse af genevirkningen. Resultaterne er for hovedtelefonreproduktionen.

Det ses, at ved de helt lave niveauer er genen lav for alle typer af støj, men ved en genegrad svarende til den nuværende grænse på 30 dB(A) giver ventilationsstøjen samme gene som nabostøj med op til 5 dB højere niveauer.

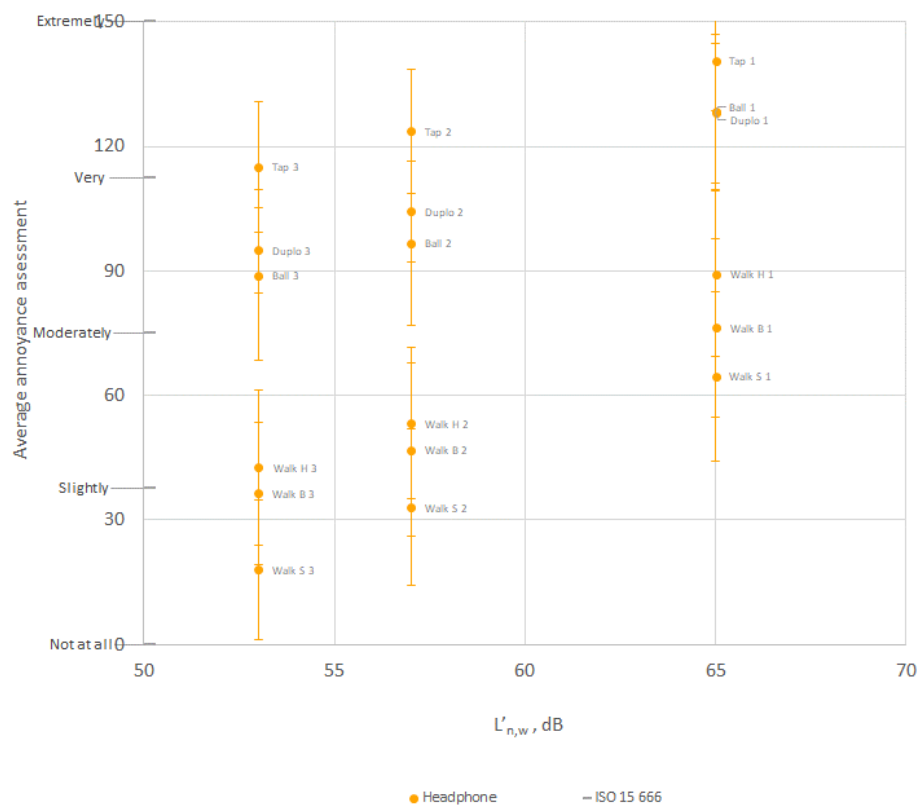
## I hvilken grad stemmer bedømmelserne overens med bygningsakustiske målinger?

Bygningsakustiske målinger af trinlydisolation foretages med en bankemaskine. Resultatet af en sådan måling er det støjniveau, trinlydniveauet  $L'_{n,w}$ , som bankemaskinen forårsager i etagen nedenunder. Jo højere trinlydniveau jo dårligere er trinlydisolationen. I dette afsnit vil vi bl.a. se, om der er en sammenhæng mellem bygningsakustiske målinger af trinlydisolation og bedømmelsen af genepotentiale.

I Figur 26 er vist den gennemsnitlige genebedømmelse for alle trinlydkilder, se afsnit 6.2.2, vist i forhold til trinlydniveauerne for de tre gulvtyper. Ubestemtheden, konfidensintervallerne, bliver mindre end vist på de tidligere figurer, fordi der tages gennemsnit af alle trinlydkilderne. Det betyder, at vurderingen af genepotentiale viser signifikante forskelle mellem de tre typer af etageadskillelser. Der er også en næsten lineær sammenhæng mellem gene og trinlydniveau. Det betyder, at for de lydeksempler, der indgår i testen, er trinlydniveauet en god indikator for den gennemsnitlige gene.



Figur 26. Bedømmelse af gene af trinlyd med hovedtelefoner. Figuren viser det af det gennemsnitlige genepotentiale for alle trinlydeksemplerne sammenholdt med,  $L'_{n,w}$ , målt med bankemaskinen. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.



Figur 27. Bedømmelse af gene af trinlyd med hovedtelefoner. Figuren viser genepotentialet for de 6 forskellige trinlydkilder hver for sig, sammenholdt med,  $L'_{n,w}$ , målt med bankemaskinen. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter.

I Figur 27 har vi vist vurderingerne af genepotentiale for hver trinlydkilde for sig. Det ses, at for alle kilder er der den samme rangering af de tre gulvtyper, og der er også næsten lineære sammenhænge mellem trinlydniveauerne og vurderingerne.

Vi ser altså også her, at trinlydniveauet er en god indikator for genen. Lyttetesten kan dog supplere med oplysninger om, i hvilken grad forskellige kilder er generende under de forskellige etageadskillelser.

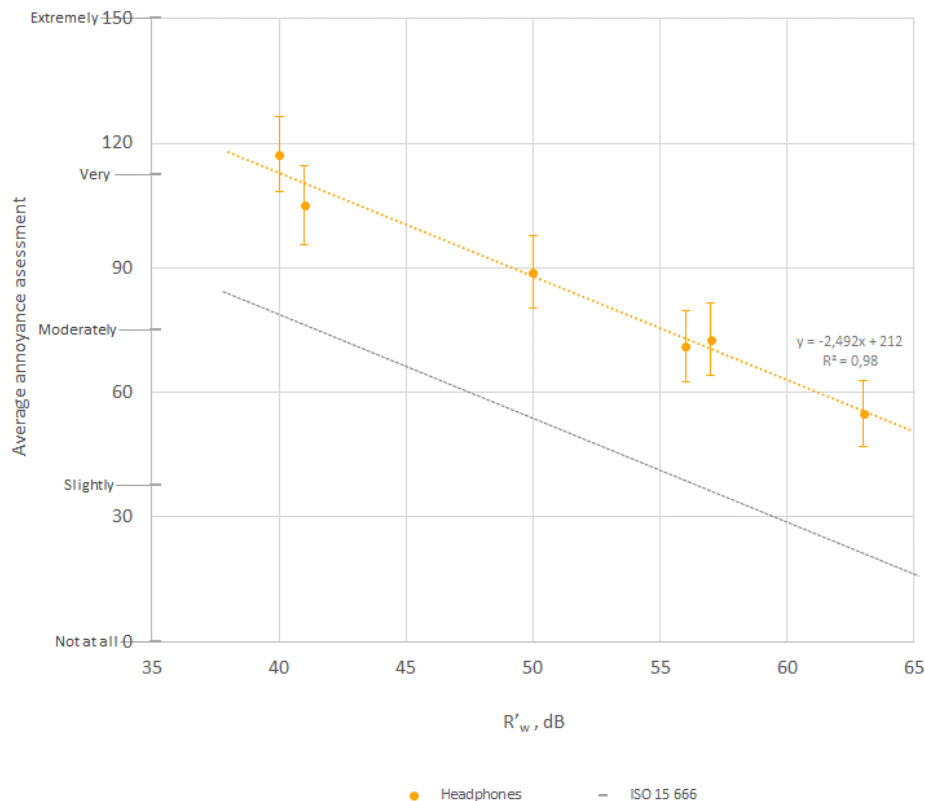
Det ses, at for trægulve på betonhuldæk (type 3) kan gang med bare fødder eller bløde sko holdes under et geneniveau som betegnes med "Lettere generende". Bolden og Duplo-klodserne ligger højere end "Moderat generende" for denne etagetypen. Bankemaskinen ligger over "Kraftigt generende".

For trægulve på beton støbt på stedet (type 2) kan kun gang med bløde sko holdes under et geneniveau på "Lettere generet". Kilderne Bold og Duplo ligger over "Moderat generet" for denne type etagedæk. Bankemaskinen ligger over "Kraftigt generet".

For trægulve på træbjælker (type 1) er alle kilder markant over "Lidt generet". Gang ligger omkring "Moderat generet", værst med de hårde hæle. Duplo og bolden er over "Kraftigt generet", og bankemaskinen er nær "Ekstremt generet".

Figur 28 viser tilsvarende det gennemsnitlige genepotentiale for alle lydeksempler på nabostøj, som høres gennem vægge.





Figur 28. Bedømmelse med hovedtelefoner af den gennemsnitlige gene for alle lydeksemplerne med nabostøj hørt gennem vægge. Figuren viser det gennemsnitlige genepotentiale, sammenholdt med lydisolationsstallet  $R'_w$ . Markeringerne på på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. De lodrette linjestykker er 95% konfidensintervaller, som er udtryk for ubestemtheden på de enkelte punkter. Den grå punkterede linje er estimeret af den respons man vil forvente hvis lydene var afspillet ved naturligt niveau.

Det skal erindres at alle lydeksemplerne for vægge blev afspillet ved et niveau der var ca. 14 dB højere end det naturlige niveau, se afsnit 6.2.2. Hvis der korrigeres for dette, kan man estimere en respons, som vil ligge på den grå punkterede linje i Figur 28. Linjen repræsenterer således responsen for lydene afspillet ved naturligt niveau. Ud fra den kan man konkludere, at for vægge med reduktionsstal  $R'_w$  omkring 40 dB, dvs. en ½-stens muret væg eller en enkeltvæg, gipsplade, se Tabel 11, vil nabostøjen i gennemsnit opleves som "Moderat generende". For vægge med et reduktionsstal på omkring 50 dB, dvs. fx 260 mm letbeton, vil nabostøjen opleves som mellem "Moderat Generet" og "Lettere generet".

Endelig vil vægge med reduktionsstal omkring 60 dB, fx 200 mm enkelt betonvæg eller en 2 x 80 mm betonvæg, se Tabel 11, medføre at nabostøjen opleves som "Lettere generende" eller mindre.

Alt i alt giver lyttetesten således en tydelig rangordning af de forskellige lejlighedsskel og detaljerede indikationer af den potentielle genevirkning af forskellige slags nabostøjklender for hver af konstruktionerne.

## Er resultaterne stabile fra test til test?

Hvis lyttetest skal bruges til at bedømme genevirkningen af nabostøj for alternative væg- og etageadskillelser er det vigtigt at vide, om man får samme bedømmelser fra gang til gang ved test af konstruktionerne. Dette afsnit ser på, i hvor høj grad dette er tilfældet.

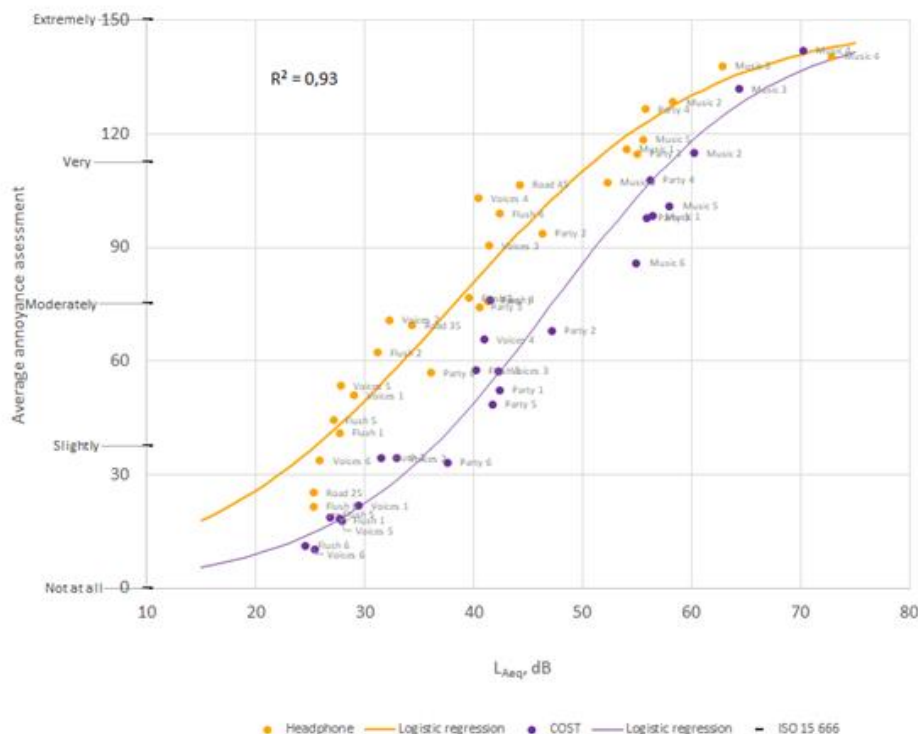
Som en del af projektet blev genevirkningen af trafikstøj hørt indendørs bedømt. Trafikstøjen blev afspillet ved niveauerne 25, 35 og 45 dB(A), se afsnit 6.2.2. Trafikstøjen blev bedømt dels i en lyttesession sammen med ventilationsstøjen med niveauer på 25-35 dB(A) med et gennemsnit på 31 dB(A), og dels i en session sammen med nabostøjen hørt gennem vægge på 25-73 dB(A) med et gennemsnit på 42 dB(A), dvs. et noget højere gennemsnitsniveau end ventilationsstøjen. I begge sessioner lå trafikstøjeksemplerne på pæne dosis-responskurver, dvs. at de blev bedømt som man kunne forvente: Kraftigere støj giver mere gene. Men det viste sig, at når trafikstøjen blev spillet i samme session som ventilationsstøjen, blev den bedømt som mere generende, svarende til et 5 dB højere niveau.

I 2012 blev der i et fælles europæisk projekt, COST Action TU0901 [9], arrangeret en særlig lyttetest med 22 assessorer fra 11 lande, se referencerne [7] og [8].

Assessorerne bedømte de samme nabostøjlyde gennem vægge som også er brugt i dette projekt. De lyttede på hovedtelefoner (ingen specifik type) i deres eget land via SenseLab's internetbaserede lyttetestsoftware, SenseLabOnline. Niveaulibreringsen blev foretaget ved at de justerede tale til et naturligt niveau. Dette giver en omtrentlig kalibrering af niveauet. Omgivelserne for lyttetesten var ikke specificeret, men instruktionen var den samme som i nærværende test.

I den nærværende lyttetest lyttede alle assessorer på de samme hovedtelefoner, og resultaterne bygger på en nøjagtig måling af lydtrykniveauerne. Denne lyttetest foregik i et lytterum med et projekteret billede af et hjemmemiljø, som skulle hjælpe assessorerne til at forestille sig at de sad hjemme.

I Figur 29 er resultaterne fra de to lyttetest sammenlignet.



Figur 29. Hovedtelefoner, nabostøj gennem vægge. Vurderingen af gene versus af lydtrykniveauet i hovedtelefoner. De orange resultater er fra denne lyttetest og de lilla resultater er fra den tidligere COST-lyttetest. Markeringerne på geneskalaen (y-aksen) svarer til: Slet ikke, Lettere, Moderat, Kraftigt og Ekstremt. De nøjagtige lydtrykniveauer i COTS-lytningstesten er ukendt.

Det ses, at de absolutte bedømmelser af genevirkningen er forskellige. Det kan der være flere forklaringer på, fx kulturelle forskelle og at lytteomgivelserne var forskellige. Hvis man sammenligner resultaterne punkt for punkt, finder man, at kun 5 punkter ikke har samme rangordning i begge test. Når der tages hensyn til ubestemtheden (konfidensintervallerne), som ikke er vist i denne graf), kan det ses, at disse afvigelser af rangordenen ikke er signifikante.

Det kan konkluderes, at selv om vurderingerne af lydeksempelernes genepotential afviger mellem de to lyttetest, som er udført under forskellige omstændigheder med 8 års mellemrum, kan rangordenen reproducere med stor nøjagtighed.

Sammenfattende må det siges at den absolutte genebedømmelse afhænger af de specifikke forhold ved lyttetesten, men de relative bedømmelser af de forskellige stimuli kan reproducere fra test til test.

Hvis man inkluderer et sæt af de samme anker- eller referencestimuli, fx trafikstøj ved forskellige niveauer, fra test til test, kan man se om de absolutte bedømmelser ændrer sig. Disse ankerstimuli kan sandsynligvis også bruges til en justering af resultaterne, så de er direkte sammenlignelige.

## Appendiks D – SUSY's 3-punktsskala for boligforhold

Som en del af projektet skal den nuværende 3-punktsskala for boligforhold, som er anvendt i de danske sundheds- og sygelighedsundersøgelser (SUSY) hos SIF, vurderes med henblik på at udarbejde forslag til konvertering af denne til en 5-punktsskala svarende til ISO/TS 15666. Formålet er at give sammenlignelighed til andre danske og udenlandske undersøgelser af støjgener og at muliggøre senere anvendelse i danske spørgeskemaer til feltundersøgelser af lydforhold. Dette appendiks giver en redegørelse for dette.

### ISO/TS 15666

Den tekniske specifikation DS/ISO/TS 15666 [33], som er godkendt i Danmark, beskriver en metode til "Vurdering af støjgener ved hjælp af sociologiske og socio-akustiske undersøgelser". Metoden bruges generelt til målinger af støjgener og benyttes også i andre lande i forbindelse med nabostøj, se eksempler i afsnit 3.

Metoden måler den selvrapporterede støjgene. Støjgene er en kompleks størrelse, som afhænger af både støjens styrke og karakter, men i lige så høj grad også af konteksten, hvori støjen forekommer, personlige holdninger og støjfølsomhed for den pågældende støjtype. Det også kendt, at spørgsmålets formulering og svarskalaens udformning har betydning for de afgivne svar. Af hensyn til sammenlignelighed af støjgeneundersøgelser har en ekspertgruppe udarbejdet denne forskrift, hvor der er taget stilling til en række forhold, der kan have indflydelse på resultaterne.

Resultatet er en metodebeskrivelse, der indeholder den præcise formulering af spørgsmål og svarskalaer. Der er også en forskrift for, hvordan disse kan oversættes til andre sprog, så spørgsmål og svarskalaer et så enslydende som overhovedet muligt.

Oversættelsen til dansk er beskrevet i reference [50], og resultaterne af oversættelser til andre sprog kan ses i reference [51].

Spørgsmålet på dansk lyder:

"Hvis du tænker på de seneste (ca. 12 måneder), hvor forstyrret eller generet er du så af støj fra (støjkilde), når du er herhjemme?"

Der er to svarskalaer: En verbal med kategorierne "Slet ikke generet - Lettere generet - Moderat generet - Kraftigt generet - Ekstremt generet" og en numerisk skala, hvor "Slet ikke generet" svarer til 0, og "Ekstremt generet" svarer til 10.

### Spørgsmål i de danske SUSY-undersøgelser

I perioden 2000-2017 er der gennemført i alt 5 undersøgelser med 3-5 år imellem, se spørgeskemaerne i [26]. I Tabel 5 i afsnit 3 findes overordnede oplys-

ninger om antal inviterede og svarandel samt hvilke støjspørgsmål, der har været i nævnte periode 2000-2017. Yderligere oplysninger findes i fx [5] og [6] og i referencerne i disse.

Muligheden for at benytte ISO/TS 15666 skalaen for boligforhold har været diskuteret med SIF, som dog har en væsentlig interesse i at bevare samme struktur i spørgsmålene af hensyn til sammenlignelighed med tidligere undersøgelser.

SUSY-spørgeskemaerne for boligforhold går på, i hvor høj grad respondenterne har været generet af de enkelte forhold i de seneste 14 dage. Svarmulighederne var "Ja, meget generet", "Ja, lidt generet" og "Nej" i alle fem undersøgelsesår, se et eksempel fra undersøgelsen i 2017 nedenfor.

**Boligforhold**

**74. Har du inden for de seneste 14 dage været generet af nogen af følgende forhold inde i din bolig?**

*(Sæt ét X i hver linje)*

	Ja, meget generet	Ja, lidt generet	Nej
Lugt af mug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lugt fra brændeovne i kvarteret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lugt af tobaksrøg fra nabo/tilstødende boliger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Støj fra trafikken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Støj fra naboer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figur 30. SUSY-skala og spørgsmål for boligforhold i SUSY-2017. Kilde: SUSY-2017, se [26], [5] og [6].

SUSY-2017 indeholdt 99 hovedspørgsmål med et varierende antal under-spørgsmål, i alt ca. 350 spørgsmål. I spørgsmål 74 som vist ovenfor er der fem detailspørgsmål om boligforhold med en 3-punktsskala til besvarelse for de seneste 14 dage. Skalaen til besvarelse varierer imidlertid hen igennem spørgeskemaet. Fx har spørgsmål 12 om dagligdagens stress en 5-punktsskala for de seneste 4 uger, spørgsmål 23 om medicin en 2-punktsskala JA/NEJ for de seneste 14 dage og spørgsmål 30 om solvaner en 4-punktsskala for de seneste 12 måneder. Samlet set er der således i de danske SUSY-undersøgelserne ligesom i andre lignende undersøgelser forskellige skalaer og tidsperioder.

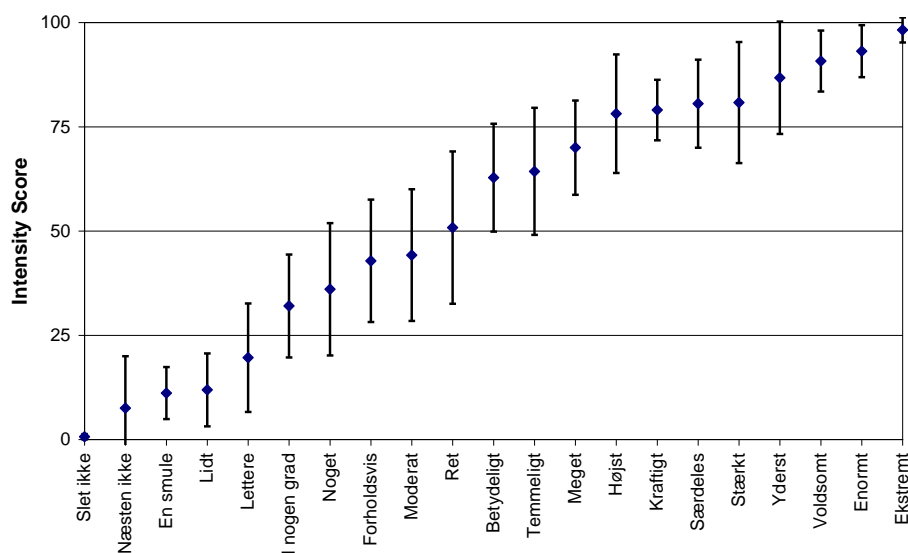
## Mulighed for konvertering og sammenlignelighed af skalaer

I forbindelse med det arbejde der førte til den danske version af ISO/TS 15666 skalaen, blev der bl.a. foretaget en intensitetsvurdering af en række mulige ord til en dansk geneskala, se [50]. Cirka 70 personer fra forskellige dele af landet blev bedt om at udfylde et spørgeskema om intensiteten af tillægsord til "generet" og 50 svarede. Respondenternes alder varierede mellem 19 og 85 år, og gennemsnittet var 45 år. Resultatet af denne undersøgelse ses af Figur 31.

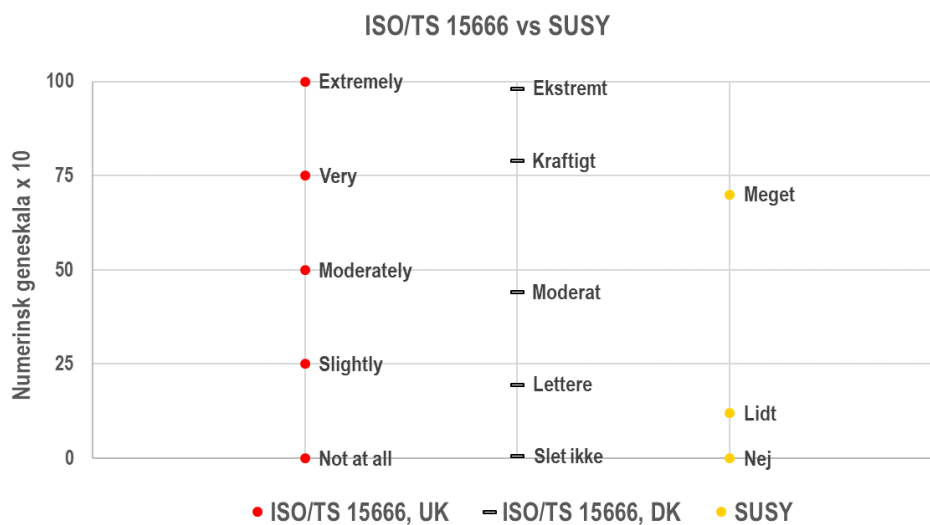
På baggrund af svarene kan vi nu sammenligne ISO/TS 15666 skalaen med SUSY-skalaen, se Figur 32.

Det ses, at den danske ISO/TS 15666 skala og SUSY-skalaen ikke er direkte sammenlignelige, men når man kender de bagved liggende svar, vil det være muligt at omregne procentdele for dem, der er generet, se fx Tabel 6 i afsnit 3.

Der er dog også andre forskelle til overvejelse som fx perioden 12 måneder i ISO/TS 15666 sammenlignet med 14 dage i SUSY-undersøgelserne for boligforhold.



Figur 31. Intensitets-score af tillægsord til "generet", se [50]. Punkterne angiver middelværdien af 50 danske svar og de lodrette linjestykker angiver standardafvigelsen.



Figur 32. Sammenligning af intensiteten af den engelske skala for støjgene ISO/TS 15666 UK (under antagelse af en ideel placering af ordene på skalaen) med den tilsvarende danske DS/ISO/TS 15666 DK med svarskala, der anvendes af SIF i SUSY-undersøgelse.

Hvis man vælger at skifte fra den nuværende SUSY-skala for boligforhold til ISO/TS 15666 skalaen, vil det således være muligt beregningsmæssigt at sammenligne med responsen fra de tidligere år – om end med nogen usikkerhed – samtidigt med, at man kan opnå sammenlignelighed med andre danske støjge-undersøgelser, fx vejstøj fra Vejdirektoratet, og de udenlandske undersøgelser, der findes på området.

I rapporten *Lyttetest for bygningskonstruktioner – Udvikling af metode til laboratorieforsøg med nabostøj* beskrives udviklingen af en metode, der kan benyttes til lyttetest af oplevet gene af nabostøj transmitteret gennem forskellige typer bygningskonstruktioner. Metoden er også egnet til sammenligning af "lydkvaliteten" af konstruktioner og boliger fra forskellige tidsperioder.

Rapporten indledes med et overblik over dansk etageboligbyggeri og lydklasser for boliger bygget i forskellige tidsperioder. Der gives desuden eksempler på generende nabostøj, og hvilke aktiviteter der forstyrres.

Der er gennemført laboratorielyttetests med testpersoner. Som forberedelse hertil er der produceret en række lydstimuli til simulering af forskellige slags nabostøj, bl.a. fodtrin, musik, toiletskyl. Dertil kommer trafikstøj og ventilationsstøj, som beboerne ingen indflydelse har på.

Rapporten beskriver forberedelsen og gennemførelsen samt hovedresultaterne fra de gennemførte lyttetest og afsluttes med konklusioner vedrørende behovet for videreudvikling af metoden. Der gives fx forslag til en række nye lydstimuli til fremtidige lyttetest og demoeksempler til eksemplificering af lydforholdene i bl.a. ældre boligbyggeri.

1. udgave, 2020

ISBN 978-87-563-1954-6

Rapporten er udført som en del af et samarbejdsprojekt mellem SBi/BUILD, Aalborg Universitet, og Force Technology.

